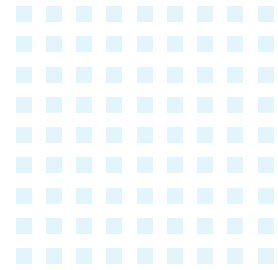
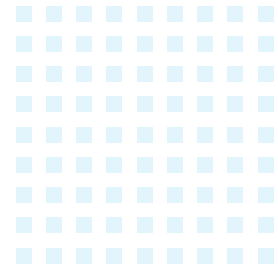
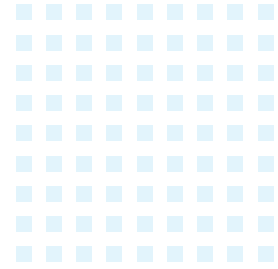


奥村組技術研究年報

No.52 2026



奥村組技術研究年報

OKUMURA TECHNICAL RESEARCH REPORT

No.52

2026

株式会社奥村組

技術本部技術研究所

TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE

OKUMURA CORPORATION

奥村組技術研究年報 No.52 2026 年

目 次

トピックス

- ・日本初の実用免震ビル 竣工から 40 年目の自由振動実験を今秋実施
- ・日本－台湾間でシールドマシンを遠隔操作
- ・奥村組技術研究所のビオトープが環境省「自然共生サイト」に認定
- ・発電しながら斜面を守る「太陽電池防災シート」の実証実験を開始

■土木系■

(施工管理)

1. コンクリート打設統合管理システムの導入効果と改善検討 1
三坂岳広・廣中哲也・高尾篤志

(材 料)

2. 環境配慮型吹付けコンクリートの開発 2
－フライアッシュと早強ポルトランドセメント併用配合の品質・施工性評価－
御器谷直子・齋藤隆弘・Biswas Rajib Kumar・廣中哲也

(山岳トンネル)

3. くり粉の画像解析によるトンネル切羽前方の地山評価 3
－削孔エネルギーおよび切羽評価点と比較して－
塚本耕治・山田昂平

■建築系■

(基礎)

4. 既製杭埋込み方式による杭頭接合部の設計合理化のための実験的研究 4
ー鉄骨造の基礎梁を想定した構造実験ー

和田湧気・山上 聡・岸本 剛

(免制振)

5. 黒鉛潤滑を用いたすべり機構を有する構造物の耐震性能に関する研究 5
洲鎌 星・小山慶樹・山上 聡・安井健治

(免制振)

6. 40年間供用した天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化6
ー別置き積層ゴム支承の調査結果と経年変化予測値の検証ー

山上 聡・舟木秀尊・洲鎌 星・安井健治・小山慶樹

(室内環境)

7. 木質ハイブリッド遮音床の開発 7
ー木造実大試験体を用いた床衝撃音対策の効果検証ー

阪本一生・稲留康一

英文サマリー	9
社外発表報文一覧	13
表彰	23
学位論文要旨	29

奥村組技術研究年報 No.52 2026 について

本冊子に掲載した論文の本文は、弊社ホームページ技術研究所サイトからご覧ください。

<https://www.okumuragumi.co.jp/technology/tri/>

奥村組 年報 2026



■表紙の写真■

一段：広島競輪場スタンド棟（広島県広島市）

二段：宝山シールド工事（中華民国 台湾・新竹県）

三段：山陰労災病院（鳥取県米子市）

免震性能確認実験



日本初の実用免震ビル

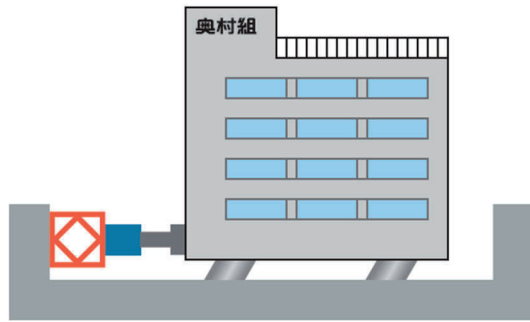
竣工から 40 年目の自由振動実験を今秋実施

奥村組技術研究所(茨城県つくば市)管理棟は、1986年に竣工した日本初の実用免震ビルです。今秋、竣工40年目の自由振動実験を実施します。本実験では、建物全体を人為的に変位させて自由振動させることにより、免震部材の性能を確認します。

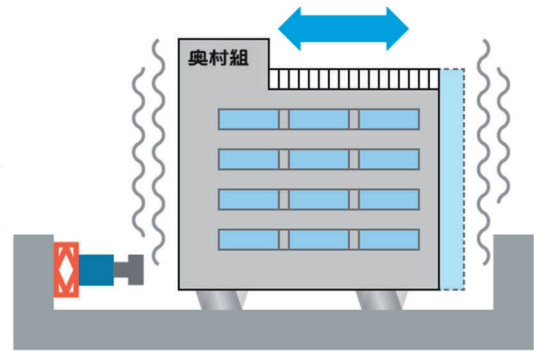
10年ごとに継続的な検証を行うことにより、長期供用されている免震部材の経年変化や動的特性を確認することで、免震技術のさらなる発展と安全・安心な社会の実現に取り組んでいます。



奥村組技術研究所 管理棟



油圧ジャッキで10cmの強制変位を与える



ジャッキを解放し、建物が自由振動

自由振動実験の概要

奥村組技術研究所管理棟は、当社が設計・施工し、1986年に竣工した日本で初めての实用免震ビルです。以来、当社は免震構造の黎明期から研究開発と実用化を推進し、安全・安心な建築物の普及に取り組んできました。

免震建物の長期的な信頼性を確保するためには、地震時の揺れを低減する免震部材の性能を継続的に検証することが重要です。今秋実施する自由振動実験は、長期間にわたり供用された積層ゴムの性能変化を確認し、免震部材の維持管理や将来の免震技術の高度化に役立てることを目的としています。

実験では、総重量約2,500トンの建物全体に対して、2基の油圧ジャッキを用いて水平方向に最大10cmの強制変位を与えた後、ジャッキの力を瞬時に解放し、建物を自由振動させます。その際の振動周期や振幅などのデータを計測・分析し、積層ゴムの経年による性能変化を評価します。

これまで10年ごとに実施してきた自由振動実験からは、免震性能が長期間維持されていることを確認しており、2016年に実施した竣工30年目の実験成果により、第18回「日本免震構造協会賞・普及賞」（2017年）を受賞しました。

今回の実験により得られる40年間に及ぶ長期計測データは、免震建物における免震部材の耐久性や性能変化を評価する上で極めて重要な知見となります。これらの成果は、既存免震建物の維持管理や長寿命化に



2016年の実証実験の様子

上:自由振動実験装置の見学、下:免震層の見学

活用されるだけでなく、将来の免震設計や性能評価手法の高度化にも役立つと考えられます。

当社は、日本初の实用免震ビルの建設以来、「免震のパイオニア」として多様な免震技術の研究開発を推進してきました。今後も自由振動実験をはじめとする継続的な検証を通じて知見を蓄積し、次世代免震技術の創出と、より安全・安心な建築・社会インフラの実現に取り組んでまいります。



日本－台湾間でシールドマシンを遠隔操作

遠隔操作システムの機能向上により、
安全性と操作性を向上

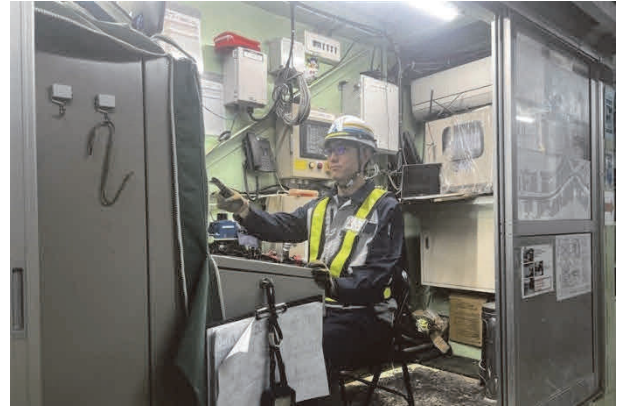
当社と奥村機械製作株式会社は、シールドマシン向け遠隔操作システムの機能向上を行い、当社技術研究所（茨城県つくば市）から台湾・桃園市で稼働中のシールドマシンの遠隔操作を実施しました¹⁾。セキュリティ機能の強化や臨場感の高いコックピットを導入することで、遠隔地からの安全かつ円滑な操作環境を構築し、将来の省人化や生産性向上に向けた取り組みを進めています。



操作用タッチパネル



シールドマシン遠隔操作状況(日本側)



遠隔操作状況の確認(台湾側)

シールドトンネル工事に用いるシールドマシンは熟練オペレーターによる運転操作が必要ですが、技能労働者の高齢化や入職者の減少などにより、熟練オペレーター不足が深刻化しています。このような課題への対応を目的として、国内外を問わず遠隔地からシールドマシンを操作できるシステムの開発に取り組んでいます。将来的には、オペレーターの負担軽減や複数現場の効率的な運用への活用を目指しています。

昨年は、日本からインターネット経由で台湾に設置されたシールドマシンの操作応答性と通信タイムラグを確認しました²⁾。今回の機能改良では、アカウント認証への二要素認証（MFA）の導入やログ管理の強化により、遠隔操作環境のセキュリティ向上を図りました。また、ドーム型モニターによる映像表示や現地音声の再現により、現場状況を把握しやすいコックピット環境を構築しました。さらに、実機と同様のレイアウトで操作パネルやモニターを配置し、シールドマシン操作経験者が直感的に操作できる仕様としました。

実証実験では、茨城県つくば市の当社技術研究所からインターネット経由で台湾・桃園市のシールドマシンへ接続し、掘削・推進・排土などの主要機構を遠隔操作しました。その結果、シールド掘進を支障なく実施できることを確認するとともに、操作性の向上や通信エラーを検知する仕組みが適切に機能することを確認しました。



遠隔操作したシールドマシン

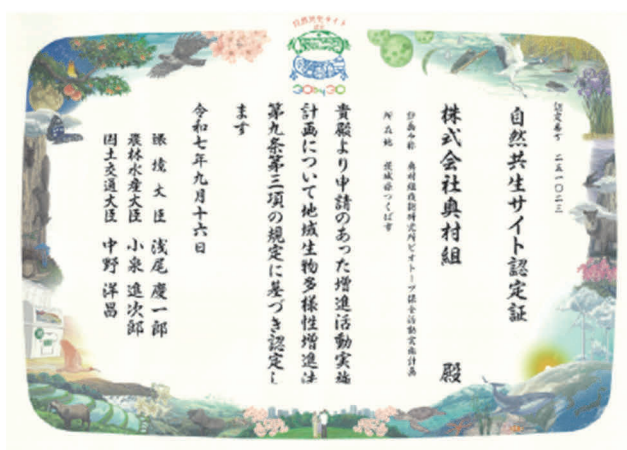
今後は、通信障害発生時にシールドマシンを安全に停止させる機能の実装を進めるとともに、1人のオペレーターによる複数現場の遠隔管理・操作の実現を目指します。また、XR 技術を活用した仮想コックピットの開発や、遠隔操作技術を活用した技術者・オペレーターの教育訓練への展開も進めていく予定です。

- 1) 2026 年 4 月 13 日ニュースリリース、
<https://www.okumuragumi.co.jp/newsrelease/2026/post-73.html>
- 2) 2025 年 2 月 7 日ニュースリリース、
<https://www.okumuragumi.co.jp/newsrelease/2025/1800km.html>



奥村組技術研究所のビオトープが 環境省「自然共生サイト」に認定

当社は、「人と地球に優しい環境の創造と保全」を目指した活動の一環として、技術研究所（茨城県つくば市）内にビオトープを整備しています。特に水辺に生育する希少植物に焦点を当て、生息域外保全に関する研究を進めてきました¹⁾。この度、技術研究所のビオトープが、環境省の「自然共生サイト」に認定されました^{2,3)}。



認定証



認定ロゴマーク



自然共生サイトは、2030 年までに陸と海の30%以上を健全な生態系として保全する国際目標「30by30」の実現に向け、環境省が認定する「民間企業や自治体などの取組みにより生物多様性の保全が図られている区域」です。2025 年4月施行の地域生物多様性増進法により自然共生サイトは法制化されており、今回の認定は同法に基づく初回認定の一つとなります。

当社はこれからも、自然共生サイトにおける生息環境調査・代償措置・地域連携等の活動により、地域の生物多様性の保全に貢献し、人々の快適で安全・安心な暮らしと豊かな自然を両立させた持続可能な社会の実現を目指します。



ビオトープ全景

- 1) 2021 年 11 月 19 日ニュースリリース、
<https://www.okumuragumi.co.jp/newsrelease/2021/-2010sdgs-5-20101010cop1026-cm30cm30cm60cm60cm90cm2.html>
- 2) 2025 年 10 月 1 日ニュースリリース、
<https://www.okumuragumi.co.jp/newsrelease/2025/post-65.html>
- 3) 環境省、生物多様性「見える化」マップ、
https://www.biodiversitymap.env.go.jp/initiatives?site_no=920251200010

【奥村組技術研究所のビオトープに生息する希少な動植物】



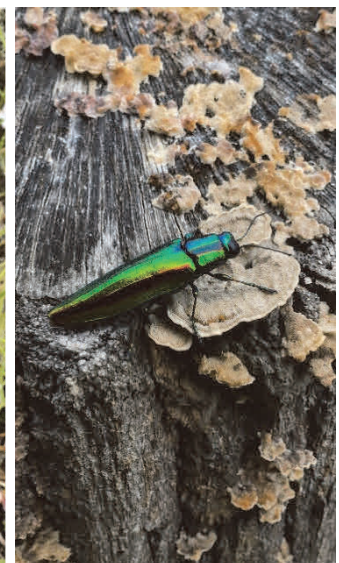
イトイヌノヒゲ



クロホシクサ



シロバナナガバノイシモチソウ



ヤマトタマムシ

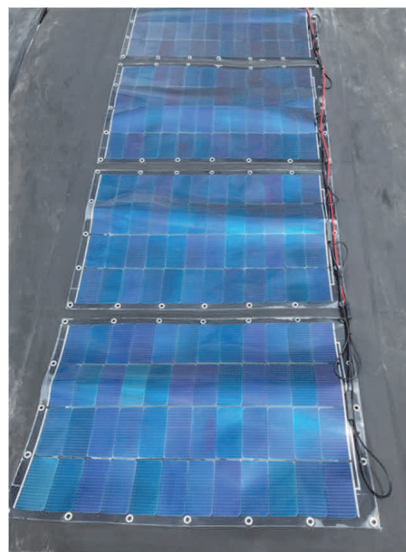


発電しながら斜面を守る 「太陽電池防災シート」の実証試験を開始

当社と国立大学法人岩手大学は、発電機能と遮水機能を併せ持つ「太陽電池防災シート」の実用化に向けた実証試験を開始しました¹⁾。当社技術研究所（茨城県つくば市）内に造成した盛土斜面に、ペロブスカイト太陽電池およびローラブル太陽電池を貼り付けた遮水シートを設置し、発電性能や耐久性、降雨浸透の抑制効果などを検証しています。



ペロブスカイト太陽電池設置状況²⁾



ローラブルシリコン太陽電池設置状況



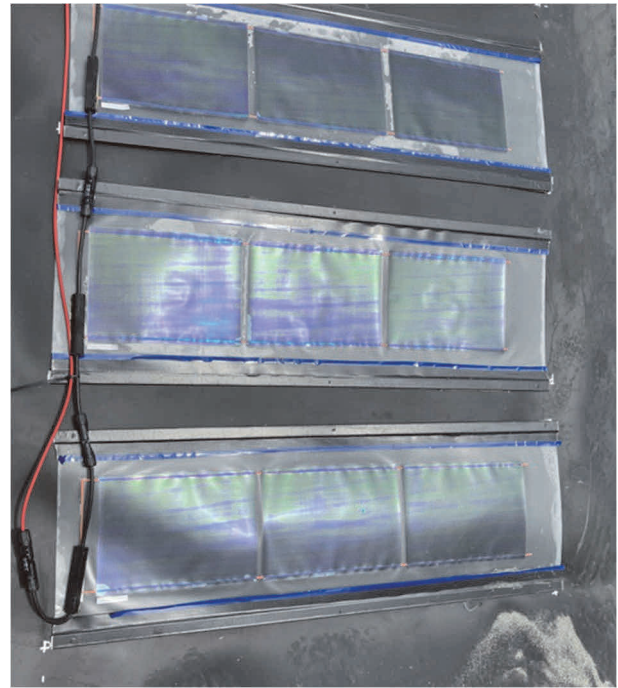
2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて太陽光発電の導入が進む一方、太陽電池の設置に適した用地の確保が課題となっています。また、近年は全国で多くの斜面災害が発生しており、その主な要因の一つとして雨水の浸透による地盤強度の低下が挙げられます。現在の斜面防災対策は崩壊に抵抗する抑止工や崩壊を未然に防ぐ抑制工が中心であり、雨水の浸透を抑制して地盤強度の低下を防止する工法は十分には普及していません。

こうした課題に対し、当社は岩手大学の大河原正文教授が考案した「太陽電池防災シート」の開発を進めています。本シートは、再生可能エネルギーを生み出す「発電機能」と、雨水の浸透を防ぐ「遮水機能」を併せ持っており、カーボンニュートラルの実現と防災・減災という、2 つの社会課題を同時に解決することが可能となります。

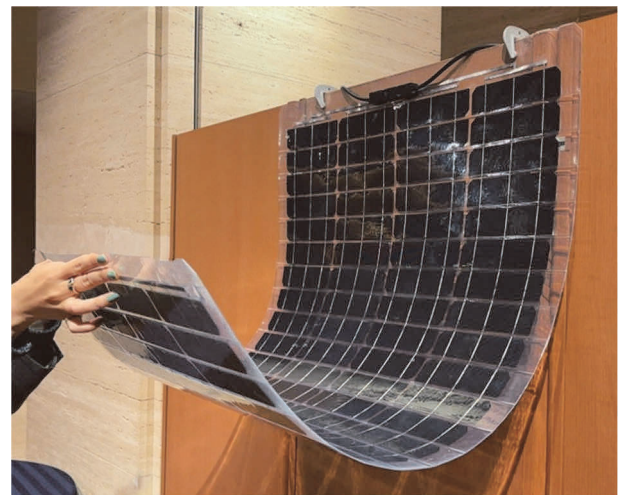
実証試験では、当社技術研究所内に造成した盛土斜面に、フィルム状のペロブスカイト太陽電池（株式会社マクニカとの共同実証）とシリコンベースのローラブル太陽電池（株式会社 SOEL との共同実証）を貼り付けた遮水シートを設置しました。実際の自然環境下において、発電性能や経時的な性能変化を確認するとともに、シートの施工性や耐久性についても検証を行っています。

また、盛土内部の空隙水圧の変化を測定することにより、雨水浸透の抑制効果や斜面防災への適用性について評価を進めています。

今後は、実証試験を通じて効率的かつ安全な施工方法の確立を図るとともに、斜面だけでなく、その他の傾斜地、未利用スペースなどへの適用可能性を追求します。また、防災インフラの強靱化とカーボンニュートラルの実現を両立する技術として開発を進め、持続可能な社会の実現に貢献してまいります。



ペロブスカイト太陽電池



ローラブルシリコン太陽電池

- 1) 2025 年 12 月 17 日ニュースリリース、
<https://www.okumuragumi.co.jp/newsrelease/2025/post-68.html>
- 2) 株式会社マクニカ、2025 年 12 月 17 日新着情報、
<https://www.macnica.co.jp/public-relations/news/2025/148888/>



コンクリート打設統合管理システムの導入効果と改善検討

Effects of Introducing a Concrete Placement Management System and Suggestions for Improvements

三坂岳広* 廣中哲也** 高尾篤志***
Takehiro Misaka, Tetsuya Hironaka, Atsushi Takao

研究の目的

建設業では、建設技能者のうち、60 歳以上の割合が約 4 分の 1 を占める一方、29 歳以下は全体の約 12% となっており、担い手不足や技術力の継承が課題となっている。これら課題の解決策の 1 つとして、建設現場のデジタル化の促進による生産性向上が求められている。

コンクリート打設統合管理システムは、コンクリートの打込み管理業務のデジタル化による生産性向上・業務削減を目的に開発された。本システムを評価し改善することを目的に適用現場に対しアンケート調査を行った。

研究の概要

本システムの使用者と作業内容を表 1 に示す。本システムを現場で使用するためには、各作業段階の使用者が記載の作業を行う必要がある。アンケートは実際に現場で本システムを使用した人を対象とした。

図 1 に業務削減効果に関するゼネコン職員の回答結果を示す。本システムを現場に導入することにより、平均で 23% の業務量が削減されたとの回答が得られた。図 2 に本システムの再度の利用に関してゼネコン職員にアンケートを行った結果を示す。最も多い回答は「状況・条件による」という中立的なものであり、「使用する・勧める」という肯定的な意見もあった。「使用しない・勧めない」という否定的な意見は無かった。

表 1 本システムの使用者と作業内容

作業段階	使用者	作業内容
打込み計画の作成	ゼネコン（現場職員）	3D モデルを打込み範囲で割り付け、打込み計画をたてる
出荷	生コン工場（出荷担当）	出荷伝票を写真撮影し、OCR で情報を取り込む
荷卸し	生コン工場（運転手・社外運転手・デリバリー）	現場に設置されたタブレット端末から荷卸し情報を登録する
打込み箇所の指定	ゼネコン（現場職員）	割り付けた打込み箇所をシステムに記録する

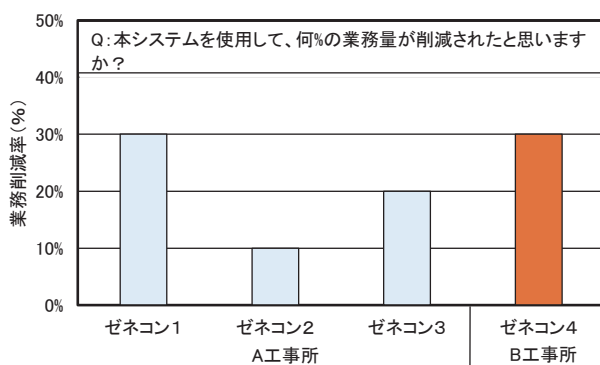


図 1 業務削減効果（ゼネコン）

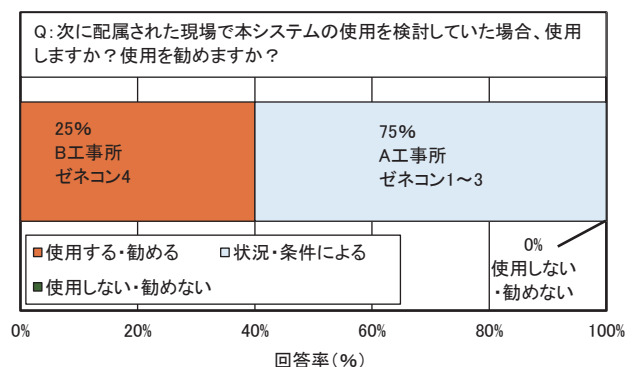


図 2 システムの再度の利用（ゼネコン）

研究の成果

- 本システムを導入することでゼネコンの管理業務に平均 23%（10～30%）の業務削減効果が認められた
- 本システムの業務削減効果の中で報告書作成作業の削減量が大きい
- 本システムの運用に関しては生コン工場の出荷担当に作業負荷が発生し、運用の支障になっている場合がある
- 本システムを再度の利用したいかとの問いに対し、ゼネコン職員においては否定的な意見は無かったが、生コン工場関係者においては大半が肯定的であるものの、手間が増えることに対して否定的な意見も見られた
- 本システムは生コン情報の電子化に対応し、出荷データの登録作業をなくすことや生コン工場側にもデータ提供を行い、メリットがある形に改良することで普及展開が可能と考えられる

環境配慮型吹付けコンクリートの開発

ーフライアッシュと早強ポルトランドセメント併用配合の品質・施工性評価ー

Development of Low-Carbon Sprayed Concrete

- Evaluating the Quality and Constructability of Concrete Mixtures Incorporating Fly Ash and High-Early-Strength Portland Cement -

御器谷直子* 齋藤隆弘* Biswas Rajib Kumar* 廣中哲也**
Naoko Gokitani, Takahiro Saito, Biswas Rajib Kumar, Tetsuya Hironaka

研究の目的

建設分野ではカーボンニュートラル実現に向けて、コンクリートの低炭素化が重要な課題である。山岳トンネルの施工においては大量のコンクリートが使用され、その主要材料であるセメントの製造時には多量の CO₂ が排出される。このため、セメントの一部をフライアッシュ等の混和材で置換し、セメント使用量を少なくすることが有効な対策とされている。一方で、セメント量の低減や低温下におけるフライアッシュの反応性低下により、初期強度の発現性が低下する可能性がある。本研究では、トンネル支保工に必要な強度を初期から長期にわたり確保することを目的として、フライアッシュおよび早強ポルトランドセメントを併用した環境配慮型吹付けコンクリートの強度発現性および施工性を検討した。

研究の概要

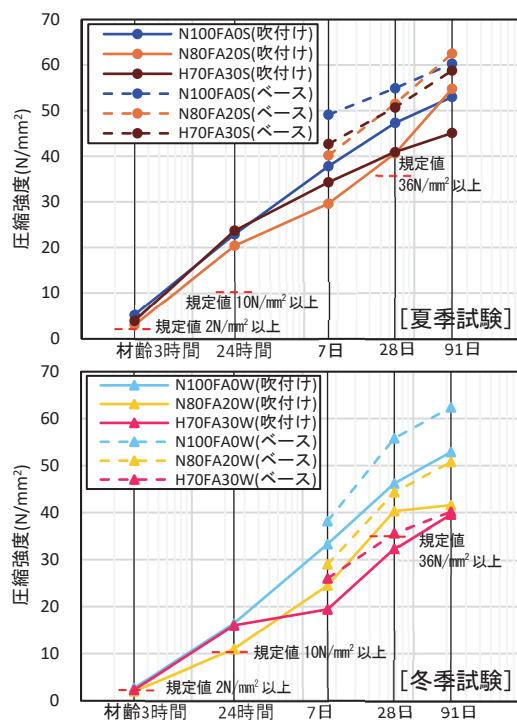
セメント種類およびフライアッシュ置換率の異なる吹付けコンクリートの配合において、夏季（高温環境下）および冬季（低温環境下）に実機吹付け試験を実施した。結合材には普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントおよびフライアッシュ、急結剤には粉体助剤併用型のアルカリフリー酸性急結剤を用いた。レディーミクストコンクリート工場で製造した急結剤添加前のコンクリート（ベースコンクリート）をポンプ圧送（吐出量 10m³/h、圧送距離 15m）し、吹付け機先端のノズル手前で圧縮空気により液体急結剤および粉体急結剤を添加した後、模擬トンネルの半断面に吹き付けた。コンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度（初期：ピン貫入試験、長期：コア圧縮強度試験）、はね返り率等を測定し、配合条件およびはね返り率から CO₂ 排出量を算出した。

写真-1 に吹付け状況を示す。フライアッシュの使用により、圧送時に顕著な脈動や閉塞のない安定した圧送性および吹付け時にははね返りの少ない付着性の向上が得られた。

図-1 に夏季および冬季における圧縮強度試験結果を示す。フライアッシュおよび早強ポルトランドセメントの併用により、高強度吹付けコンクリートの初期強度の規定値を満たし、長期的な強度発現性を確保した。



写真-1 吹付け状況



配合名) N: 普通ポルトランドセメント、H: 早強ポルトランドセメント
FA: フライアッシュ、S: 夏季試験、W: 冬季試験
記号後の数字は結合材の重量比率（例えば H70FA30 = H70: FA30）

図-1 夏季および冬季の強度試験結果

研究の成果

- フライアッシュと早強ポルトランドセメントを併用した吹付けコンクリートは、高温環境および低温環境のいずれにおいても、トンネル支保工に必要な初期強度を確保できた
- フライアッシュの置換率を高めた配合においても、材齢の経過に伴う長期的な強度増進が確認された
- はね返り率は、フライアッシュ置換率の増加に伴って低減する傾向を示し、早強ポルトランドセメント使用のフライアッシュ置換率 30% 配合では、はね返り率を夏季で 10%、冬季で 8% 程度まで低減できた
- セメント使用量の削減およびはね返り率低減の効果により、CO₂ 排出量は従来配合に対して約 30% の削減となることを確認した

くり粉の画像解析によるトンネル切羽前方の地山評価

－削孔エネルギーおよび切羽評価点と比較して－

Evaluation of Geological Conditions Ahead of the Tunnel Face Using Image Analysis of Drill Cuttings
- Comparison with Drilling Energy and Tunnel Face Evaluation Scores -

塚本耕治* 山田昂平**
Koji Tsukamoto, Kohei Yamada

研究の目的

山岳トンネルの工事では、切羽前方の地山性状を事前に把握することが安全性、施工性の面から重要である。その調査法の一つである削孔検層法は、ドリルジャンボの油圧削岩機が地山を削孔する際の削孔速度および各種油圧などの削孔データを解析し、求めた削孔エネルギーなどから切羽前方の地山性状を把握する探査法である。さらに、削孔水とともに排出されるくり粉の目視観察や湧水量の測定結果から総合的な地山評価が行われる。このうち、くり粉の評価では目視や指触による方法が主体であり、観察者の主観的評価になりがちであった。そこで、くり粉によるトンネル切羽前方地山の定量的評価を目的として、くり粉の画像解析結果を掘削エネルギーおよび切羽評価点と比較し、その有用性を検証した。

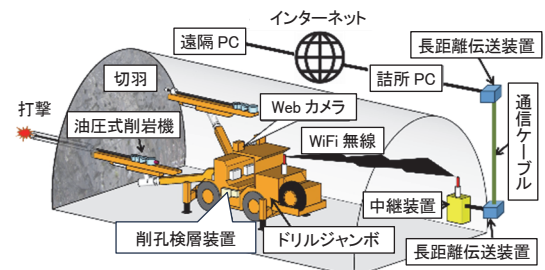
研究の概要

掘削中に採取したくり粉の画像解析から求めた粒度・色相データについて、切羽観察から評価した切羽評価点および削孔検層から求めた削孔エネルギーと比較することで、トンネル切羽前方の地山評価への適用性を検証した。削孔検層遠隔モニタリングシステムは、ドリルジャンボに搭載した Web カメラおよび削孔検層装置、坑内中継装置、長距離伝送装置、各所 PC 等で構成され、切羽状況および削孔時の計測状況の確認、削孔データの回収、削孔エネルギーの算出等を遠隔で行うことができる（図－1）。また、削孔検層装置のロッド1本当たり約 300g のくり粉を採取し、画像解析を行った。解析では、写真－1 に示すカラーチャート（色見本）をくり粉とともに撮影し、既知色を基準に画像の色ずれを補正した。その後、くり粉の重なる領域を分割し、粒径および色度を求めた。

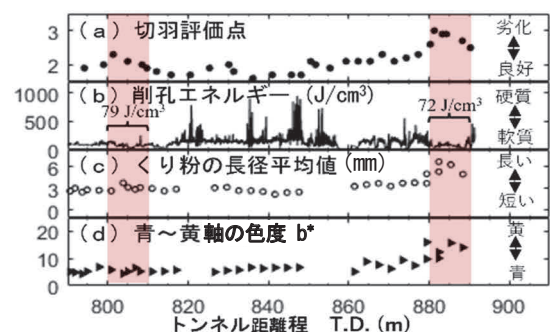
切羽評価点、削孔エネルギー、くり粉の画像解析から算出した長径平均値および青～黄軸の色度を表す(b^*) を、トンネル距離程に沿って比較した結果を図－2 に示す。赤色ハッチングで示す 2 区間では、掘削エネルギー（図－2 (b)）が同程度であるにもかかわらず、地山の割れ目状態や風化・変質の程度等を評価する切羽評価点（図－2 (a)）は、TD800～810m 区間の約 2.0 に対し、坑口付近 TD880～890m 区間では約 3.0 と高く、坑口付近の地山がより脆弱であると評価された。くり粉画像解析の結果、坑口付近 TD880～890m 区間では、くり粉長径平均値（図－2 (c)）が約 3mm から約 6mm まで大きくなり、粒径の大きいくり粉が増加した。また、 b^* （図－2 (d)）は約 5 から約 14 に増加しており、風化により褐色や黄色を呈するくり粉が増えたと推察される。くり粉長径および b^* の変化は、切羽評価点と整合することから、くり粉の画像解析により地山状態を定量的に評価できることを確認した。



写真－1 カラーチャートとくり粉画像



図－1 削孔検層遠隔モニタリングシステムの概要



図－2 切羽評価点・削孔エネルギー・くり粉画像解析

研究の成果

- くり粉画像解析による地山評価は有用であり、削孔検層遠隔モニタリングシステムと組み合わせることで、トンネル切羽前方地山の評価手法の高度化が期待できる
- 切羽評価点と評価項目の地山の割れ目状態や風化変質については、削孔エネルギーのみで評価することは困難である
- くり粉の画像解析から求めたくり粉の大きさと関係する長径平均値は割れ目の状態と相関性が高く、色の指標である $L^*a^*b^*$ 空間では、特に b^* （青～黄軸の色度）が風化変質との相関が高い



■ 建築系 ■ (基礎)

既製杭埋込み方式による杭頭接合部の設計合理化のための実験的研究

－鉄骨造の基礎梁を想定した構造実験－

Experimental Study on Rationalization of Design for Pile Cap Using Precast Pile Embedment Method
- Structural Experiment Assuming Steel Foundation Beams -

和田湧気* 山上 聡* 岸本 剛**
Yuki Wada, Satoshi Yamagami, Takeshi Kishimoto

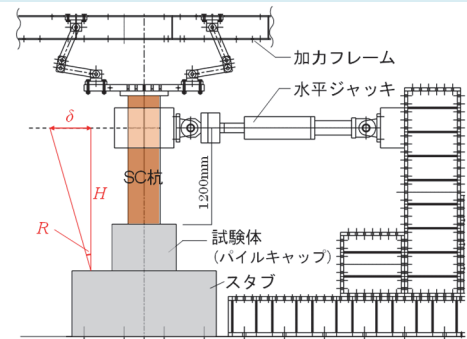
研究の目的

筆者らは、既製杭により支持する建物の基礎梁を鉄骨造で構築する工法である「鉄骨基礎梁工法」の研究開発を進めている。本工法では、施工性を考慮し、杭頭部をパイルキャップに埋め込む接合方式を採用しており、既報にて、埋込み方式（定着筋の併用を含む）を用いたパイルキャップの曲げせん断実験について報告し、設計用限界値の評価式を提案している。引き続きの取り組みとして、埋込み方式を用いたパイルキャップの適用範囲の把握および提案した評価式の検証を目的に、5体の試験体による曲げせん断実験を行った。

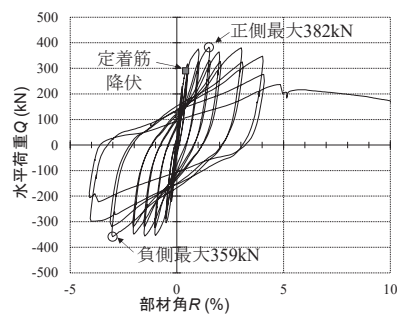
研究の概要

本研究では、パイルキャップを模擬した鉄筋コンクリート部に SC 杭を埋め込んだ形状の試験体について、図－1に示す加力装置により曲げせん断実験を行った。主なパラメータは、定着筋の有無、杭中空部の中詰めコンクリートの有無、せん断補強筋の配筋である。試験体のパイルキャップの形状は、一般的な既製杭のそれよりも小さい $D_p = 2.0D$ (D_p : パイルキャップ辺長、 D : 杭外径) である。

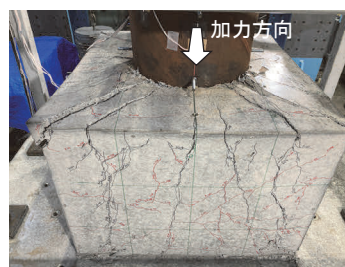
実験結果より、荷重－変形関係およびパイルキャップの損傷過程を把握し（図－2、写真－1）、パイルキャップ寸法の縮小等による設計の合理化の可能性を確認した。また、鉄骨基礎梁工法への適用に向け、パイルキャップのコンクリートに打ち継ぎ面を有し、主筋に機械式継手を用いた試験体や、主筋の降伏を想定した試験体も設定しており、これらの構造性能に基づき、本工法への適用と設計法確立に向けた知見を得た。さらに、提案式による計算値 Q_{cal} と実験値 Q_{max} の対応関係を確認した（図－3）。



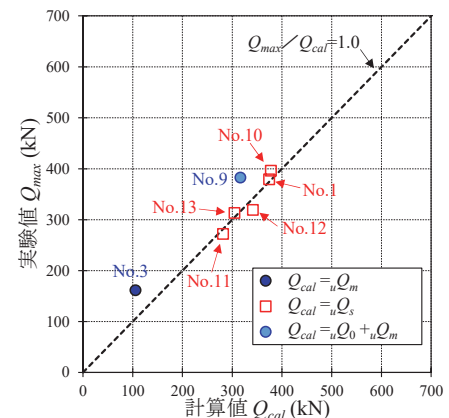
図－1 加力装置の概要



図－2 荷重－変形関係の一例



写真－1 試験体（パイルキャップ）
損傷状況の一例



図－3 計算値と実験値の関係

研究の成果

- せん断補強筋の影響を考慮した杭頭埋込み部の設計用限界値の提案式により、各試験体の最大耐力を概ね適切に評価できる
- パイルキャップのコンクリートに打ち継ぎ面、主筋に機械式継手を有する場合でも、打ち継ぎに沿ったひび割れの進展は小さい範囲に留まる
- 杭中空部の中詰めコンクリートの有無が最大耐力へ及ぼす影響は小さい
- 加力方向前方の杭幅内に位置する主筋は、曲げ抵抗に寄与しておらず、パイルキャップの設計用限界曲げモーメントの評価において考慮する必要がある

黒鉛潤滑を用いたすべり機構を有する構造物の耐震性能に関する研究

Research on the Seismic Performance of Structures with Graphite-Lubricated Sliding Mechanisms

洲鎌 星* 小山慶樹** 山上 聡* 安井健治*
Sei Sugama, Yoshiki Koyama, Satoshi Yamagami, Kenji Yasui

研究の目的

免震建物は地震被害の軽減に有効であるが、経済的な観点からその適用は病院や市庁舎などの重要施設に留まり、一般建物への普及は十分に進んでいない。そこで、安価で入手が容易な鋼・コンクリート・黒鉛を用いて免震建物と同等の高い耐震性を実現する「直置き型構造物」の開発を進めており、解析的な検討から、極めて希に発生する地震の2倍以上の強さの地震動に対しても応答低減効果を発揮する可能性が示されている。しかしながら、その効果に関する実験的な評価・検証は十分ではない。本研究では、直置き型構造物による振動実験を実施し、地震動に対する応答性状を確認した。

研究の概要

本研究では、鋼製の床フレームと柱脚部分を組み合わせた剛試験体、さらに柱を組み合わせた1層および3層試験体の3種類の試験体を製作し、コンクリート床板上に黒鉛を散布した図-1のすべり面上に積載して振動実験を行った。試験体の柱脚部分には、残留変位抑制のための復元ゴムを取り付けた。剛試験体を用いた実験では、すべり面の摩擦係数の面圧依存性を検証するため、柱脚部の平均面圧を変化させて正弦波加振を行った。図-2に示すように摩擦係数の面圧依存性が小さいことを確認した。1層試験体の実験では、直置き型構造物の応答低減効果および上下動がすべり挙動と上部構造応答に及ぼす影響を評価するため、国内で観測された3種類の地震波を用いてX方向の一軸加振とX・Z方向の二軸加振を行った。表-1に示すように、上下動が直置き型構造物の最大すべり変位、最大すべり速度、摩擦係数、および上部構造の最大層せん断力係数に及ぼす影響は小さいことを確認した。3層試験体の実験では、水平二軸加振と一軸加振における上部構造応答の差異を確認するため、同じ地震波を用いてX・Y方向それぞれの一軸加振とX・Y方向の二軸加振を行った。図-3に示すように、二軸加振時における上部構造の応答は、一軸加振時と比較して概ね小さくなった。さらに、表-1と表-2に示すように、1層および3層試験体の全加振ケースにおいて、残留すべり変位がそれぞれ20mm および 50mm 以内となった。このことから、復元ゴムが十分な残留変位抑制効果を有することを確認した。

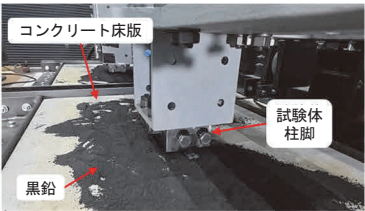


図-1 すべり面外観

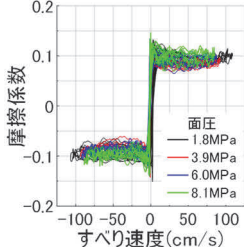


図-2 すべり速度と摩擦係数の関係

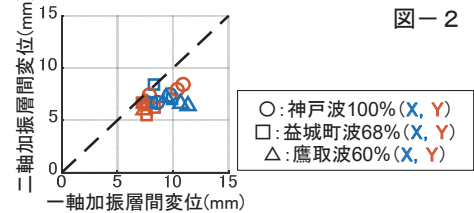


図-3 一軸・二軸加振時の最大層間変位の比較

表-1 1層試験体の実験結果

計測項目	加振方向	実験ケース		
		神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%
残留すべり変位 (mm)	X	6	7	12
	X・Z	10	16	16
最大すべり変位 (mm)	X	153	253	292
	X・Z	152	259	296
最大すべり速度 (cm/s)	X	91	114	89
	X・Z	88	114	89
最大静止摩擦係数	X	0.15	0.15	0.14
	X・Z	0.15	0.15	0.14
最大層せん断力係数	X	0.74	0.61	0.41
	X・Z	0.77	0.6	0.43

表-2 3層試験体の実験結果

計測項目	加振方向	実験ケース		
		神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%
最大層間変位 (mm)	X	9.7 (2層目)	9.9 (2層目)	12.0 (2層目)
最大ベースシア係数 C_0	X	0.30	0.32	0.37
最大すべり変位 (mm)	X	168	220	309
残留すべり変位 (mm)	X	30	5	10

研究の成果

- i. すべり面に接する試験体柱脚部の平均面圧が1.8~8.1MPaの範囲では、摩擦係数の面圧依存性は小さい
- ii. 上下動の有無が、直置き型構造物の最大すべり変位、最大すべり速度、すべり面の摩擦係数および上部構造の最大層せん断力係数に及ぼす影響は小さい
- iii. 直置き型構造物は、国内で観測された極めて希に発生するレベルの地震動に対しても十分な応答低減効果を有する
- iv. 直置き型構造物の柱脚部分に取り付けた復元ゴムは、十分な残留変位抑制効果を有する
- v. 3層試験体の水平二軸加振時の応答は、一軸加振時と比べ上部構造の最大層間変位および最大層せん断力係数が最大で約4割小さく、最大すべり変位は同程度となる。また、すべり面の摩擦係数は一軸加振時より約1~2割小さくなる

*技術本部技術研究所建築研究グループ **技術本部技術戦略部



40 年間供用した天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化 — 別置き積層ゴム支承の調査結果と経年変化予測値の検証 —

Aging Characteristics of Natural Rubber Bearings in a Base-Isolated Building after 40 Years of use
- Survey Results of a Monitored Specimen and Validation of Long-Term Trend Forecasts for Natural Rubber Bearings -

山上 聡* 舟木秀尊* 洲鎌 星* 安井健治* 小山慶樹**
Satoshi Yamagami, Hidetaka Funaki, Sei Sugama, Kenji Yasui, Yoshiki Koyama

研究の目的

免震建物の主要部材である積層ゴム支承は、建築物への初適用から約 40 年が経過しているが、その長期的な構造性能の変化に関する知見は十分ではない。そこで、筆者らは、1986 年に竣工した免震建物を対象に、天然ゴム系積層ゴム支承（以下、NRB）の水平剛性の経年変化について継続的に調査を行っている。これまで、建物を静的に水平载荷する静的加力試験、励振させる自由振動試験、ならびに 30 年経過時に建物から抜き取った NRB 単体試験、これら 3 つの試験より得られた NRB の水平剛性計測値を設計時の熱老化試験による予測値と比較検証してきた。今回、建物外で保管していた別置き NRB の試験結果を加え、各調査結果の整合性および予測値との比較を実施した。

研究の概要

対象とした免震建物は、1986 年 9 月に竣工した奥村組技術研究所管理棟（茨城県つくば市）である。建物概要を表-1に示す。免震部材として NRB を 25 基、鋼棒製ダンパーを 12 基設置している。

表-1 建物概要

項目	諸元
竣工	1986 年
構造	RC 造 4 階 基礎免震
高さ	15.5m
建築面積	348.18m ²
支承材	NRB 500φ 25 基
減衰材	鋼棒製ダンパー 12 基

NRB の経年変化については、建物の水平载荷による自由振動実験、静的加力試験、および NRB 単体の性能試験により確認した。建物の水平载荷状況を写真-1に示す。

建物外部に構築した反力体に载荷装置を設置し、竣工以来定期的に、最大せん断ひずみ $\gamma=100\%$ （水平変位 100mm）までの範囲で自由振動試験および静的加力試験を実施している。NRB 単体の性能試験では、供用 30 年経過時に建物から NRB を 2 基抜き取り、それを試験体とした。性能試験の結果、抜取品と建物の静的加力試験から得られた荷重-変形関係の平均値は概ね一致し、その経年変化の傾向も同様であることを確認した。さらに、建物に実使用されている NRB と同一ロットの別置き NRB について性能試験を実施し、抜取品との比較を行った。図-1に、抜取品および別置き NRB の竣工時と経年時における荷重変形関係から得られた割線剛性の比較結果を示す。両者の水平剛性の変化の傾向は概ね一致しており、建物での調査結果、抜取品、および別置き NRB の間に良好な整合性が確認された。このことから、常時鉛直荷重を受けていない別置き NRB についても、経年変化の評価に活用できる可能性が示された。

これらの調査結果について、設計時に実施した熱老化試験による剛性変化率の予測値および日本免震構造協会が提案する予測式（以下、JSSI 予測式）との比較を図-2に示す。建物での実験結果に比べ、抜取品や別置きの変化率が大きい理由は、異なる最大せん断ひずみ（ γ_{max} ）での繰返し载荷による影響と考えられ、 $\gamma_{max}=200\%$ の性能検査を行った抜取品や別置きの変化率は、試験条件の近い熱老化試験①の結果と同程度であった。対象建物の経過 40 年までの調査結果との比較により、JSSI 予測式が安全側に評価されることを確認した。

研究の成果

- 抜取品と別置き NRB の水平剛性の経年変化は概ね一致し、実建物で使用されている NRB の水平剛性の経年変化を別置き NRB で評価が可能であることを確認した
- NRB の水平剛性の経年変化は、40 年経過時点においても設計時の熱老化試験による予測範囲内にあり、NRB の長期耐久性が確認された

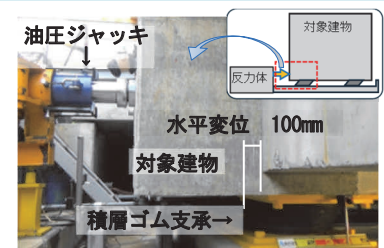


写真-1 建物の水平载荷状況

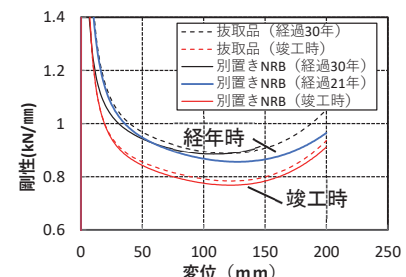


図-1 別置きと抜取品の剛性比較

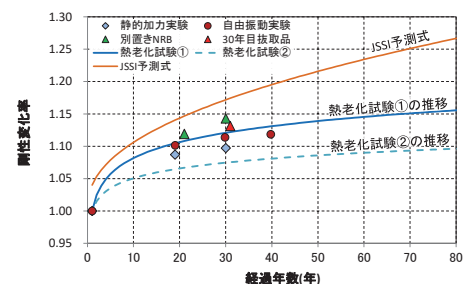


図-2 実建物の調査結果と予測値の比較

木質ハイブリッド遮音床の開発 — 木造実大試験体を用いた床衝撃音対策の効果検証 —

Development of Wooden-Based Hybrid Floor for Sound Insulation
- Study of Floor Impact Sound Reduction Measures in a Full-Scale Timber Structure Building Specimen -

阪本一生* 稲留康一**
Kazuki Sakamoto, Koichi Inadome

研究の目的

近年、脱炭素社会の実現に向けて木造建築物の利用拡大が進み、中高層オフィスや集合住宅などにおいても木材利用が拡大している。しかし、木造建築物は鉄筋コンクリート（RC）造に比べ剛性や質量が小さいため、重量床衝撃音遮断性能の確保が課題となっている。

そこで、木造建築物における重量床衝撃音の低減を目的として、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）と木材を組み合わせた高剛性ハイブリッドパネルを開発した。このパネルを乾式二重床構造に組み込むことで乾式二重床下地の剛性が向上し、衝撃力を広範囲に分散させる効果が期待できる。この手法による木質系床構造の重量床衝撃音レベルの低減効果を確認するとともに、開発パネルの有効性を検証するため、木造実大試験体を用いた測定実験を行った。

研究の概要

木造建築物における重量床衝撃音対策として、床加振時の衝撃力を床構造の局所へ集中させるのではなく、二重床全体を広い範囲にわたって一体的に変位させることで衝撃力を分散させることが有効な点に着目した。そこで写真-1に示す CFRP と木質材を組み合わせた高剛性ハイブリッドパネルを開発し、その効果を検証した。開発パネルは、CFRP シートと合板を積層した構造とし、一般的な乾式二重床面材の約 7～8 倍の曲げ剛性を有する仕様とした。

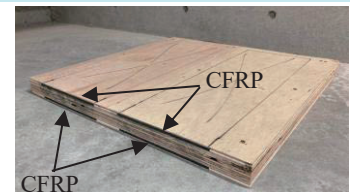


写真-1 高剛性ハイブリッドパネル

従来仕様と開発仕様の床にボールを高さ 1m から自由落下させ、支持脚に作用する衝撃力を支持脚下に設置したロードセルにより測定した。その結果、開発パネルを用いることで加振点直下への衝撃力が大幅に低減し、複数の支持脚へ分散されることを確認した（図-1）。

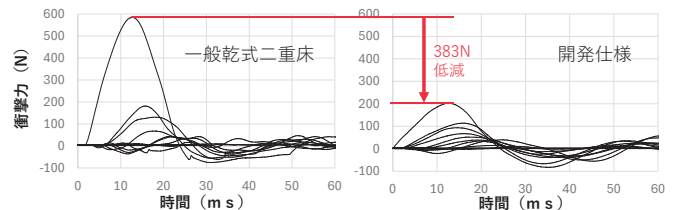


図-1 衝撃力測定結果（脚上加振）

重量床衝撃音の測定を行った木造実大試験体の構造は木質軸組工法とし、建物用途は集合住宅（寮）を想定して平面・断面形状を計画した。測定対象室の壁内寸法は 3400×2900mm の約 10m² とした。床衝撃音レベルの測定は、JISA 1418-2 に準じて実施した。測定結果として床衝撃音の相対比較を図-2に示す。重量床衝撃音遮断性能は対策前と比べて 4 ランク向上した。特に 63Hz 帯域で約 22dB の低減効果が確認され、高い重量床衝撃音低減効果を有することがわかった。

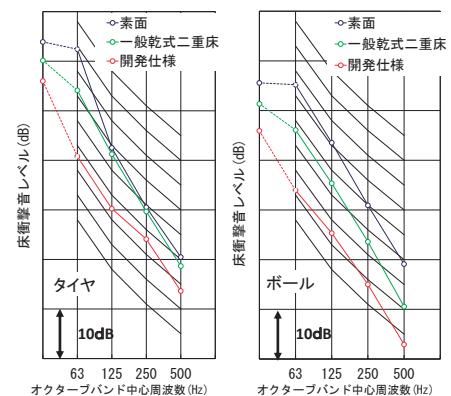


図-2 床衝撃音測定結果（相対比較）

また、重量床衝撃音測定に際しての受音点高さによる測定値のばらつきを検討した。床加振点 5 点に対して下室の床面からの高さ方向を計 6 点とした合計 30 点の結果から、RC 造での検討と同様に、室中央付近や特定の高さでは室内モード（部屋の形状に依存する共鳴現象）の影響を受けやすく、測定結果に偏りが生じる可能性があることを確認した。このことから、重量床衝撃音測定においては、測定点をランダムに配置することが望ましいことがわかった。

研究の成果

- CFRP を組み合わせた高剛性ハイブリッドパネルを乾式二重床に用いることで、床躯体への衝撃力の分散効果が向上する
- 木造実大試験体を用いた測定結果から、木造床に対して乾式二重床による重量床衝撃音対策の有効性を確認した
- 木造実大試験体を用いた測定結果から、乾式二重床へ開発した高剛性ハイブリッドパネルを用いることで、重量床衝撃音遮断性能が対策前から 4 ランク向上した

1. Effects of Introducing a Concrete Placement Management System and Suggestions for Improvements

Takehiro Misaka, Tetsuya Hironaka, Atsushi Takao

Around a quarter of all workers in the construction industry are 60 years of age or older; those 29 or younger account for only about 12% of the total. This has led to challenges such as shortages of skilled workers and the transfer of technical skills.

One solution to these challenges is to digitalize construction sites. With the intention of reducing workloads, a concrete placement management system was developed and deployed at seven construction sites. We then undertook surveys at these sites to evaluate and improve the system.

The survey results showed that introducing the system reduced workloads for construction managers by approximately 23%. However, challenges such as increased workloads for plant employees were also identified.

Keywords: digitalization, concrete placement management, transportation time, labor saving, survey

2. Development of Low-Carbon Sprayed Concrete - Evaluating the Quality and Constructability of Concrete Mixtures Incorporating Fly Ash and High-Early-Strength Portland Cement -

Naoko Gokitani, Takahiro Saito, Biswas Rajib Kumar, Tetsuya Hironaka

Reducing CO₂ emissions from concrete production is an important challenge for achieving carbon neutrality in the construction industry. The authors developed an environmentally-friendly sprayed concrete that balances environmental performance with the strength and workability required for tunnel construction. The proposed concrete mixture reduces cement consumption by partially replacing cement with fly ash, an industrial byproduct, and combining it with high-early-strength Portland cement.

Since substitution with fly ash typically reduces early-age strength, particularly under low-temperature conditions, maintaining the performance required for tunnel support throughout the year poses a key challenge. In this study, the rapid hydration characteristics of high-early-strength Portland cement were utilized to improve early-age strength development. Full-scale spraying tests with actual spraying equipment were conducted in both summer and winter to evaluate the applicability of the mixture under different seasonal conditions.

The results showed that the sprayed concrete developed by the authors achieves the early-age strength required for tunnel support in winter while maintaining adequate pumpability in summer. In addition, the study confirmed reductions in rebound rate, indicating improved material utilization efficiency. The proposed concrete mixture also reduces the CO₂ emissions associated with cement use. These findings demonstrate the feasibility of applying environmentally friendly sprayed concrete year-round while contributing to lower-carbon tunnel construction.

Keywords: mountain tunnel, high-strength sprayed concrete, fly ash, low carbon

3. Evaluation of Geological Conditions Ahead of the Tunnel Face Using Image Analysis of Drill Cuttings - Comparison with Drilling Energy and Tunnel Face Evaluation Scores -

Koji Tsukamoto, Kohei Yamada

In the construction of mountain tunnels, ascertaining the geological conditions ahead of the tunnel face in advance is critical both for safety and efficiency during construction. One method of making such predictions is drill logging, in which ground properties are evaluated based on indicators such as drilling energy, which is derived from analyzing data including drilling speed and hydraulic pressure obtained from a hydraulic rock drill during ground excavation. Traditionally, assessments of the drill cuttings discharged together with the drilling water have relied on visual and tactile inspections, introducing the issue of evaluator subjectivity.

Therefore, our study assessed the utility of image analysis as a potential alternative, which involved comparing and verifying tunnel face evaluation scores against measurements of particle size and color obtained through image analysis of the cuttings, in addition to using drilling energy data. The results confirm that this is an effective approach for evaluating ground conditions ahead of the tunnel face.

Keywords: drill logging, drill cuttings, image analysis

4. Experimental Study on Rationalization of Design for Pile Cap Using Precast Pile Embedment Method - Structural Experiment Assuming Steel Foundation Beams -

Yuki Wada, Satoshi Yamagami, Takeshi Kishimoto

The authors subjected five specimens to bending-shear experiments to assess the applicability of a pile cap using an embedded precast pile connection to a steel foundation beam system and to verify the proposed equations for obtaining the design limit values of the pile head embedment.

The results clarified load-deformation relationships and the pile cap failure process. Additionally, they confirmed the adequacy of the proposed equations for evaluating the maximum strength of each specimen with reasonable accuracy.

The results also suggest that the design can be rationalized by, for example, reducing the size of the pile cap. Based on the structural performance of each specimen, the authors present findings regarding the application of this system to a steel foundation beam system and the establishment of a corresponding design method.

Keywords: precast pile, pile cap, pile head embedment, bending-shear experiment, foundation beam

5. Research on the Seismic Performance of Structures with Graphite-Lubricated Sliding Mechanisms

Sei Sugama, Yoshiki Koyama, Satoshi Yamagami, Kenji Yasui

The authors have pursued research on structures designed to achieve both cost-effectiveness and high seismic performance by incorporating a sliding mechanism with graphite lubrication. This method makes use of inexpensive, widely available materials such as steel, concrete, and graphite. However, while theoretical studies, including numerical analysis, have demonstrated that such structures can effectively improve seismic response, their real-world characteristics have not been sufficiently verified experimentally. In particular, seismic response characteristics and long-term changes in the sliding interface have yet to be fully clarified. Our study investigated the seismic response characteristics of steel-frame structures with graphite-lubricated sliding surfaces in shaking table tests. The results show that vertical ground motion has little effect on the sliding behavior of the structures. Additionally, they show that the rubber restoration spring in the sliding layer effectively suppresses residual sliding displacement. Furthermore, the response of the superstructure under biaxial horizontal excitation was generally smaller than that observed under uniaxial excitation.

Keywords: free-standing structure, shaking table test, graphite lubrication

6. Aging Characteristics of Natural Rubber Bearings in a Base-Isolated Building after 40 Years of use - Survey Results of a Monitored Specimen and Validation of Long-Term Trend Forecasts for Natural Rubber Bearings -

Satoshi Yamagami, Hidetaka Funaki, Sei Sugama, Kenji Yasui, Yoshiki Koyama

Age-related change in the horizontal stiffness of natural rubber bearings (NRB) is a critical concern in seismic isolation design. Increasing horizontal stiffness over time can generate greater seismic response acceleration in the superstructure, potentially affecting structural safety and performance. However, the rates of change in horizontal stiffness assumed at the design stage are typically based on accelerated thermal aging tests. Limited data is available regarding the aging characteristics of NRB installed in actual buildings.

To address this issue, we conducted investigations of a base-isolated building approximately 30 years after its completion, examining both the overall isolation layer and individual NRB. The consistency of the observed aging characteristics was confirmed by comparing the results obtained at each NRB site. Additionally, we compared the measured changes in horizontal stiffness with the design predictions and with the results obtained by current aging prediction models, followed by an additional survey after 40 years of use.

The results indicate thermal aging tests provide relatively accurate forecasts for NRB. Additionally, we found that the equations for forecasts changes in the horizontal stiffness of bearings currently proposed by the Japan Society of Seismic Isolation (JSSI) provide conservative estimates.

Keywords: natural rubber bearing (NRB), aging, thermal aging test, equation for forecasting bearing stiffness

7. Development of Wooden-Based Hybrid Floor for Sound Insulation

- Study of Floor Impact Sound Reduction Measures in a Full-Scale Timber Structure Building Specimen -

Kazuki Sakamoto, Koichi Inadome

This study concerns a method for improving the heavy-weight floor impact sound insulation performance of timber flooring through the development of a high-stiffness hybrid panel consisting of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) and wood-based materials. This panel is intended to be incorporated into the upper layer of a floating floor system.

We propose a floating floor system that mitigates the heavy-weight floor impact sound of timber flooring by distributing impact forces across the floor structure rather than them being concentrated directly at the point of impact. The panel, consisting of laminated CFRP sheets and plywood, exhibits a bending stiffness approximately seven to eight times greater than that of the upper layer of a conventional floating floor. Experimental results obtained using a full-scale timber structure building showed that the panel effectively redistributed impact forces and improved the heavy-weight floor impact sound insulation by a reduction of approximately 22 dB at 63 Hz compared to before the improvement measure. The study also found that sound measurement points must be randomly distributed to minimize any measurement bias caused by room modes.

To verify effectiveness under real-world conditions, our company plans to incorporate these panels into a floating floor system in an actual timber building.

Keywords: timber structure, floating floor system, floor impact sound, impact force

【土木系】(2025年4月～2026年3月)

査読付論文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
1	センシングデータとBIM/CIM 4Dモデルを関連付けた鉄道近接工事の施工管理システム	奥村組 東京都市大学 奥村組 〃 〃	高尾篤志 矢吹信喜 宮田岩住 大塚義一 平井 崇	土木学会論文集 Vol.81 No.10 24-00119 2025	土木学会	10月
2	EXPERIMENTAL EVALUATION OF A NOVEL 3D-PRINTED PERMANENT CONCRETE FORMWORK	奥村組 〃 〃	ヒスワス ラシフカマル 齋藤隆弘 伊藤 淳	Proceedings of International Structural Engineering and Construction	ISEC Press	12月
3	Effect of particle shape on liquefaction and Reliquefaction strength of short fiber-reinforced sand	名古屋大学 〃 奥村組	酒井崇之 中野正樹 ジャホンギルベ ム	Results in Engineering	Elsevier B.V.	2026年 3月

講演会発表論文

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
4	多量な地下水を胚胎する養老山地を跨ぐ山岳トンネルでの安全対策	中日本高速道路 〃 奥村組 〃 〃 〃	萩野凌平 岡田和弘 市南賢人 堀 恵輔 齊藤賢治 黒武者貴幸	第60回地盤工学研究発表会 22-2-3-01	地盤工学会	7月
5	衝撃弾性波法による岩石の簡易Vp測定に関する研究	奥村組	塚本耕治	第60回地盤工学研究発表会 22-3-1-04	地盤工学会	7月
6	繊維強化によるセメント使用量削減効果と可能性の研究	奥村組 名古屋大学 奥村組 名古屋大学	ジャホンギルベ ム 酒井崇之 外木場康将 中野正樹	土木学会第80回年次学術講演会 11AM1-To-11	土木学会	9月
7	箱型ルーフ推進用掘削機械(スパーダー掘削機)の開発	奥村組 〃 〃 Mtec	二井俊次 山下和也 原田祐作 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 11PM2-Se-06	土木学会	9月
8	箱型ルーフ推進用坑内自動搬送車両(箱型ルーフAGV)の開発	奥村組 〃 〃 Mtec	原田祐作 二井俊次 山下和也 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 11PM2-Se-08	土木学会	9月
9	土木学会「eラーニング事業家検討小委員会」活動報告	鹿島建設 奥村組 岐阜高専 東京都立大学 東京電力ホールディングス 東日本高速道路 八千代エンジニアリング	安田 学 水口宏朗 菊 雅美 河田皓介 西 俊彰 小松和幸 佐藤 環	土木学会第80回年次学術講演会 CS1-34	土木学会	9月
10	令和6年能登半島地震時の災害応急対策における地元建設業者の広域支援活動	奥村組 日本大学 地震工学委員会 テクニカルリンク	柳原純夫 仲村成貴 後藤洋三 山本一敏	土木学会第80回年次学術講演会 CS10-48	土木学会	9月
11	大規模噴火時における降灰の収集運搬シミュレーション～収集運搬計画支援システムの開発～	奥村組 〃 アラヤ 〃	羽瀧博臣 今井亮介 中野 崇 原口将征	土木学会第80回年次学術講演会 CS15-06	土木学会	9月
12	PC床版の新しい接合法(Zスパイラル工法)の開発 その1 実物大供試体による施工性確認試験	奥村組 〃 〃 〃 昭和コンクリート工業 〃 〃 〃 大阪工業大学	郭 勝華 守屋裕兄 三澤孝史 川口昇平 国井優嗣 坂井 悟 岩山健治 吉田辰也 松井繁之	土木学会第80回年次学術講演会 CS19-24	土木学会	9月
13	PC床版の新しい接合法(Zスパイラル工法)の開発 その2 半断面施工を考慮した輪荷重走行試験	奥村組 〃 〃 〃 〃 昭和コンクリート工業 〃 〃 〃 大阪工業大学	藤井伸介 守屋裕兄 三澤孝史 川口昇平 国井優嗣 岩山健治 坂井 悟 吉田辰也 松井繁之	土木学会第80回年次学術講演会 CS19-25	土木学会	9月

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
14	PC床版の新しい接合工法(Zスパイラル工法)の開発 その3 プレストレス導入による床版と接合部のコンクリートひずみの経時変化	昭和コンクリート工業 〃 〃 〃 奥村組 〃 〃 〃	国井優嗣 吉田辰也 岩山健治 坂井 悟 守屋裕兄 三澤孝史 川口昇平 藤井伸介	土木学会第80回年次学術講演会 CS19-26	土木学会	9月
15	橋梁添加物支持材周辺に発生した疲労亀裂に関する検討	奥村組 〃 首都高技術センター	外木場康将 佐藤 拓 香山 貴 平山繁幸	土木学会第80回年次学術講演会 I-40	土木学会	9月
16	平面2次元逆解析によるトンネル湧水量と周辺地下水位の予測	ハイドロ総合技術研究所 奥村組	森田修二 外木場康将	土木学会第80回年次学術講演会 III-177	土木学会	9月
17	初の養老山地を跨る道路トンネルで出現した多量湧水帯の形成要因について	中日本高速道路 〃 奥村組 〃 〃	萩野凌平 岡田和弘 市南賢人 堀 惠輔 黒武者貴幸	土木学会第80回年次学術講演会 III-197	土木学会	9月
18	コーンコネクター継手の曲げ試験による回転挙動の把握	東京電力パワーグリッド 〃 〃 奥村組 〃	大西崇寛 末永貴志 山本祐美加 木下茂樹 天川 航	土木学会第80回年次学術講演会 III-200	土木学会	9月
19	3Dプリントされた型枠を構造部材として利用するための補強方法の検討	奥村組 〃 〃 〃	三澤孝史 ビスワス ラジフ・カマル 齋藤隆弘 伊藤 淳	土木学会第80回年次学術講演会 V-299	土木学会	9月
20	A Novel approach to utilize 3D printed permanent formwork as structural component: An experimental study	奥村組 〃 〃 會澤高圧コンクリート	ビスワス ラジフ・カマル 齋藤隆弘 伊藤 淳 東 大智	土木学会第80回年次学術講演会 V-428	土木学会	9月
21	建設作業員のアンケート型体調モニタリングによる熱中症対策	奥村組 〃 ユーフォリア 〃 東京大学大学院	秋好優輝 新保賢一 森井貴弘 三木利隆 八田秀雄	土木学会第80回年次学術講演会 VI-66	土木学会	9月
22	コンクリート打設統合管理システムの導入効果と改善検討	奥村組 〃 〃 〃 応用技術	三坂岳広 高尾篤志 廣中哲也 松本隆太郎 中尾浩一	土木学会第80回年次学術講演会 VI-127	土木学会	9月
23	複数の急曲線と1D以下の小土被りを泥土圧シールド工法で施工(1) ー1D以下の小土被り施工ー	奥村組 〃 〃 〃	正木達也 元永浩斗 佐藤 敦 滝元光士郎	土木学会第80回年次学術講演会 VI-251	土木学会	9月
24	複数の急曲線と1D以下の小土被りを泥土圧シールド工法で施工(2) ー4か所のR=15m以下の急曲線施工ー	奥村組 〃 〃 〃	滝元光士郎 元永浩斗 佐藤 敦 中家亮輝	土木学会第80回年次学術講演会 VI-252	土木学会	9月
25	トレーサーによる泥土圧シールド添加材逸脱量の推定(1) ー添加材中のトレーサー濃度とトレーサー材料の選定ー	奥村組 〃 〃 Mtec	梶川虎太郎 中岡孝行 伊東俊彦 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-259	土木学会	9月
26	トレーサーによる泥土圧シールド添加材逸脱量の推定(2) ー試験施工ー	奥村組 〃 〃 Mtec	中岡孝行 梶川虎太郎 鈴木 衛 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-260	土木学会	9月
27	高水圧下におけるセグメントシール材の応力緩和メカニズムの分析	東海旅客鉄道 〃 〃 〃 〃 奥村組	三浦崇嗣 押田直之 岩永啓佑 野村彰吾 柴尾 亨 木下茂樹	土木学会第80回年次学術講演会 VI-305	土木学会	9月
28	交換型テールシールの開発(1) ー開発の背景と交換機構ー	奥村組 〃 奥村機械製作 Mtec	吉川直利 津村匡洋 今北公宏 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-323	土木学会	9月
29	交換型テールシールの開発(2) ー試験施工結果ー	奥村組 〃 〃 Mtec	中家亮輝 星 智久 津村匡洋 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-324	土木学会	9月
30	曲げセンサーを用いたテールシールの変形計測	奥村組 〃 東京電力パワーグリッド Mtec	津村匡洋 星 智久 千葉大祐 川嶋英介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-325	土木学会	9月
31	単純プレビーム合成桁架設の施工報告	奥村組 〃 〃 〃	本間雄大 藤井伸介 内藤大資 鈴木覚也	土木学会第80回年次学術講演会 VI-386	土木学会	9月

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
32	合成桁床版の取替施工における課題	奥村組 〃 〃 〃	中迫哉太 岡島 徹 門脇 圭 田邊裕之	土木学会第80回年次学術講演会 VI-405	土木学会	9月
33	コンクリート破砕物を全量使用した再生コンクリート製造技術の 拡充	奥村組 〃 ケミカル工事 〃 〃	鈴木奨士 松本隆太郎 川口昇平 西川重範 沼田 憲 澤村 通	土木学会第80回年次学術講演会 VI-447	土木学会	9月
34	高強度吹付けコンクリートのフライアッシュ使用によるCO ₂ 削減 の検討	奥村組 〃 〃 〃	御器谷直子 廣中哲也 齋藤隆弘 ビスウス ラジフクマル	土木学会第80回年次学術講演会 VI-529	土木学会	9月
35	覆工コンクリートの加温養生における管理手法の試みについて	奥村組 〃 〃 〃 中日本高速道路 〃	齋藤隆弘 松本隆太郎 御器谷直子 加藤英一 萩野凌平 岡田和弘	土木学会第80回年次学術講演会 VI-547	土木学会	9月
36	覆工コンクリートの加温養生における制御システムの運用	奥村組 〃 〃 〃 〃 中日本高速道路 〃	廣中哲也 馬淵恵弥 松本隆太郎 黒木孝洋 齋藤隆弘 萩野凌平 岡田和弘	土木学会第80回年次学術講演会 VI-548	土木学会	9月
37	覆工コンクリートの自動打込みシステムの開発と実大施工実験	奥村組 〃 〃 〃	松本隆太郎 齋藤隆弘 御器谷直子 ビスウス ラジフクマル	土木学会第80回年次学術講演会 VI-556	土木学会	9月
38	削孔データを用いた支保パターン推定における混合ガウスモデル の適用性に関する検討	奥村組 〃 鉄道建設・運輸施設整備支援機構	塚本耕治 中西正樹 佐藤大介	土木学会第80回年次学術講演会 VI-604	土木学会	9月
39	白色凝灰岩が分布する地山における山岳トンネル工事の施工 報告	奥村組 国土交通省 近畿地方整備局 〃 奥村組 〃	徳田大征 寺田哲也 澤田健一 石津智史 溝畑洋一	土木学会第80回年次学術講演会 VI-610	土木学会	9月
40	山岳トンネル盤ぶくれ対策工の工期短縮 ー解析によるインバート薄肉化・扁平化の検討ー	奥村組 〃 〃 〃 〃 〃 ジオ・ソリューション ベカルトジャパン	村山杏奈 川崎聡太 向井 陸 中川雄太 市澤泰之 高島通男 樽井 稔 董 賀祥	土木学会第80回年次学術講演会 VI-621	土木学会	9月
41	コンピュータジャンボとプレスブリッティングの組み合わせによる 余掘り低減の試み	奥村組 〃 〃 〃	浜田 元 三浦良平 堀内雄介 村上智明	土木学会第80回年次学術講演会 VI-629	土木学会	9月
42	掘削時における地盤改良土留め工の有効性に関する検討	奥村組 〃 〃 〃	麻生真司 松岡大輔 ジャホンギルベ 外木場康将	土木学会第80回年次学術講演会 VI-653	土木学会	9月
43	大規模開削工事における高被圧帯水層を有する軟弱地盤から の異常出水対策	奥村組 〃 〃 〃 〃 阪神電気鉄道	吉村祐哉 光島 亮 宮本達哉 米蔵俊之 大東和徳 小田崇裕	土木学会第80回年次学術講演会 VI-665	土木学会	9月
44	地質調査結果に基づくシールド掘進に支障する岩塊の事前撤 去ー北海道新幹線、羊蹄トンネル(比羅夫)他工事ー	鉄道建設・運輸施設整備支援機構 〃 奥村組	河邊亮太 上松 苑 根来将司	土木学会第80回年次学術講演会 VI-990	土木学会	9月
45	粘性土を含む巨礫掘進時の小口径シールド工事における工程 確保	東京電力パワーグリッド 〃 〃 奥村組	片岡元樹 三浦瑛人 金子敬一 星 智久	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1045	土木学会	9月
46	油圧ショベルの作業方法の違いによる燃料消費量削減効果の 実験的検討	戸田建設 奥村組	本本章平 平井 崇	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1057	土木学会	9月
47	中央新幹線神奈川県駅(仮称)におけるURT工法を用いた大 断面トンネルの構築	東海旅客鉄道 〃 〃 〃 奥村組	徳永大輝 吉川太郎 柴尾 亨 面川 剛 小林俊彦	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1082	土木学会	9月

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
48	多亀裂性岩盤にも対応できる爆薬の遠隔装填装置の開発	奥村組 " " " 中日本高速道路 "	黒武者貴幸 岩崎 光 市南賢人 堀 恵輔 萩野凌平 岡田和弘	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1151	土木学会	9月
49	OPERAを活用したチルトロータータ付油圧ショベルの掘削実験	奥村組 " " " 国立研究開発法人土木研究所 " " "	藤沼花奈 三澤孝史 川澄悠馬 松田顕伍 遠藤大輔 山内元貴 阿部太郎 橋本 毅	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1161	土木学会	9月
50	週末交通解除条件下へのプレキャストブロックによるインパート補強の試験施工	奥村組 " " " 東日本高速道路 "	蜂谷真司 赤崎修一 板谷裕次 花谷仁志 釜坂大貴	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1300	土木学会	9月
51	近鉄鶴橋駅ホームドア設置に伴う補強工事の施工報告	奥村組 " " " 近畿日本鉄道 "	宮本達哉 川畑公義 大野 隆 高松靖司 徳光愛美	土木学会第80回年次学術講演会 VI-1357	土木学会	9月
52	離島(長崎県対馬島)における山岳トンネル施工について ー主要地方道厳原豆岐美津島線道路改良工事((仮称)箕形トンネル)ー	奥村組	宮地志門	第96回(山岳)施工体験発表会	日本トンネル 技術協会	10月
53	都市部における超長距離・大深度シールド施工 ー千代田幹線工事, 千代田幹線その2工事ー	奥村組 "	柿永恭佑 吉田英典	第97回(都市)施工体験発表会	日本トンネル 技術協会	10月
54	ウォーターPPP事業における質の向上・効率化技術の開発	奥村組	山口 治	令和7年度建設技術報告会報文集	北陸地方整備 建設事業推進協 議会	10月
55	棚倉断層のコアと近傍地盤の力学特性評価の試み: その1 打撃試験と針貫入試験の適応性	産業技術総合研究所 西松建設 奥村組 " 琉球大学 中電技術コンサルタント 琉球大学 日本原子力研究開発機構	朝比奈大輔 高村浩彰 塚本耕治 本田文人 伊東 孝 岩田直樹 藍檀オメル 佐藤稔紀	第51回岩盤力学に関するシンポジ ウム講演集 講演番号8 pp.43-47	土木学会	12月
56	棚倉断層のコアと近傍地盤の力学特性評価の試み: その2 弾性波速度測定への適応性	奥村組 産業技術総合研究所 西松建設 奥村組 村崎建設 琉球大学 電力中央研究所 大成建設	塚本耕治 朝比奈大輔 高村浩彰 本田文人 蛭子清二 伊東 孝 岡田哲実 赤木俊文	第51回岩盤力学に関するシンポジ ウム講演集 講演番号9 pp.48-53	土木学会	12月
57	棚倉断層のコアと近傍地盤の力学特性評価の試み: その3 加速度伝搬波形の特徴と考察	西松建設 奥村組 産業技術総合研究所 中電技術コンサルタント 村崎建設 清水建設 奥村組 熊本大学	高村浩彰 塚本耕治 朝比奈大輔 岩田直樹 蛭子清二 津田健一 本田文人 オノ木敦士	第51回岩盤力学に関するシンポジ ウム講演集 講演番号10 pp.54-59	土木学会	12月

雑誌掲載報文

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
58	長距離・大深度・高水圧下でのシールド施工 霞ヶ浦導水事業 石岡トンネル第5工区	関東地方整備局 奥村組	赤羽 浩 前田卓見	建設機械施工 Vol.77 No.4(902) pp.22-26	日本建設機械 施工協会	4月
59	施工進捗と変位状況をリアルタイムに現地に3Dで可視化 施工影響XRウォッチャー	奥村組 " "	大角藤子 陳 庭松 宮田岩往	建設機械施工 Vol.77 No.5(903) pp.60-65	日本建設機械 施工協会	5月
60	週末4車線開放に向けた現場打ちおよびプレキャストインパートの設置 ー上信越自動車道 高岩山トンネルー	東日本高速道路 " 奥村組 "	釜坂大貴 花谷仁志 赤崎修一 蜂谷真司	トンネルと地下 Vol.56 No.5(657) pp.43-54	日本トンネル 技術協会	5月
61	真の安全第一を追求する 推進工事におけるリスク管理と安全対策	奥村組 " "	江本宏明 大村和寛 中村雅博	月刊推進技術 Vol.39 No.5(455) pp.10-15	日本推進技術 協会	5月
62	新技術を活用した水処理施設の耐震補強 八王子水再生センター放流渠耐震補強工事	奥村組 " "	齋藤隆弘 川澄悠馬 加藤清孝	建設機械 Vol.61 No.6(724) pp.48-52	日本工業出版	6月
63	道路橋PC床版の新しい継手構造の開発 ループ継手の施工性を高める矩形スパイラル筋の効果	奥村組 " 昭和コンクリート工業 "	川口昇平 守屋裕兄 国井優嗣 坂井 悟	土木施工 Vol.66 No.7(823) pp.124-125	オフィス・ス ペース	7月

	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
64	OPERAを利用したチルトローテータ付油圧ショベルの自動運転実験	奥村組 〃 土木研究所	藤沼花奈 三澤孝史 遠藤大輔	建設機械施工 Vol.77 No.7(905) pp.95-100	日本建設機械 施工協会	7月
65	台湾で稼働中のシールドマシンを約1,800km離れた大阪から遠隔運転に成功	奥村組 〃	張 志瑄 林 拓歩	建設機械 Vol.61 No.8(726) pp.60-65	日本工業出版	8月
66	下水道管路の損傷をAIで検出、管路詳細調査の効率化技術	奥村組	山口 治	建設機械施工 Vol.77 No.8(906) pp.21-24	日本建設施工 協会	8月
67	建設作業員向けのアンケート型体調モニタリング	奥村組 〃	碓 大智 大下和彦	建設機械 Vol.61 No.9(727) pp.33-36	日本工業出版	9月
68	浸水被害の解消に向けた雨水幹線の構築 ー軟弱層下でのシールド急曲線施工ー	津市上下水道事業局 〃 奥村組	竹田正憲 布川貴英 秦 裕彰	土木施工 Vol.66 No.9(825) pp.59-62	オフィス・ス ペース	9月
69	チルトローテータ搭載油圧ショベルの自動掘削システムの開発 自律施工技術基盤 OPERA利用による自動掘削	奥村組 〃 土木研究所	三澤孝史 藤沼花奈 遠藤大輔	土木施工 Vol.66 No.10(826) pp.61-64	オフィス・ス ペース	10月
70	凍結工法を用いた大深度アーバンリング立坑からシールドトンネルへの地中接続	奥村組 〃	下村双葉 坂本大毅	月刊推進技術 Vol.39 No.11(461) pp.33-38	日本推進技術 協会	11月
71	循環型社会とCO ₂ 排出量削減に向けたコンクリートの開発	奥村組 〃 〃	伊藤 淳 松本隆太郎 御器谷直子	土木施工 Vol.66 No.11(827) pp.87-90	オフィス・ス ペース	11月
72	礫層地盤でのシールドの施工と周辺地域への影響抑制対策 ー東京電力 昭島市付近管路ー	東京電力パワーグリッド 〃 奥村組 〃	乗附怜志 末永貴志 今村 肇 東 健司	トンネルと地下 Vol.56 No.11 pp.67-77	日本トンネル 技術協会	11月
73	油圧ショベルによる自動掘削技術 チルトローテータを活用した自動掘削	奥村組 〃 土木研究所	三澤孝史 藤沼花奈 遠藤大輔	建設機械 Vol.61 No.12(730) pp.61-66	日本工業出版	12月
74	台湾における巨礫混じり砂礫層でのシールド技術 台湾電力 大潭～梅湖工事	奥村組	林 拓歩	土木施工 Vol.66 No.12(828) pp.67-71	オフィス・ス ペース	12月
75	建設現場のデータ連携・活用を図る土木工事プラットフォームの開発	西松建設 戸田建設 奥村組	黒田卓也 中村太三 廣中哲也	建設機械施工 Vol.77 No.12(910) pp.44-49	日本建設機械 施工協会	12月
76	下水道管路の損傷をAIで検出 管路詳細調査の効率化技術	奥村組	山口 治	建設機械 Vol.61 No.12(730) pp.13-16	日本工業出版	12月
77	覆工コンクリートの自動打設システムの開発 実題施工実験と実用性の評価	奥村組 〃 〃 〃	松本隆太郎 齋藤隆弘 御器谷直子 ビスクス ラジウム	土木施工 Vol.67 No.1(829) pp.50-53	オフィス・ス ペース	2026年 1月
78	石炭灰使用による高強度吹付けコンクリートのCO ₂ 削減の検討	奥村組 〃	御器谷直子 齋藤隆弘	電力土木 No.441 pp.84-86	電力土木技術 協会	2026年 1月
79	コンクリート発注量調整の新時代 AI活用でめざす生産性向上と環境負荷低減	NTTDコムソリューションズ 奥村組	沢村乃々花 高橋勇平	建設機械 Vol.62 No.2(732) pp.46-50	日本工業出版	2026年 2月

【建築系】(2025年4月～2026年3月)

査読付論文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
1	既製杭埋込み方式による杭頭接合部の設計合理化のための実験的研究	奥村組 " " 芝浦工業大学	和田湧気 岸本 剛 山上 聡 岡 靖弘 岸田慎司	構造工学論文集 Vol.71B pp.41-50	日本建築学会	4月
2	再生骨材の製造工程におけるCO ₂ 固定量に関する研究	安藤ハザマ " 奥村組 熊谷組	吉野 玲 鈴木好幸 伊藤 淳 野中 英	コンクリート工学年次論文集 Vol.47 No.1 pp.810-815	日本コンクリート工学会	7月
3	中層鉄骨造建物の損傷確率と層間変形角の 関係に基づく損傷度判定に関する基礎的研究	奥村組 ジェイアール西日本コンサルタンツ 京都工芸繊維大学	徳永真彦 松林悠子 小島純太郎 金尾伊織	日本建築学会技術報告集 第39巻 第79号 pp.1361-1366	日本建築学会	10月
4	実建物で使用されている天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究(熱老化特性と別置き積層ゴムと建物に30年間使われた積層ゴムの比較)	奥村組 " " " " SWCC " 福岡大学	山上 聡 安井健治 舟木秀尊 小山慶樹 洲鎌 星 三須基規 清水美雪 高山峯夫 森田慶子	日本建築学会構造系論文集 第90巻 第836号 pp.1167-1176	日本建築学会	10月
5	鉛直荷重と繰返し逆対称曲げを受ける梁中央近傍の横補剛の効果	京都美術工芸大学 奥村組 京都工芸繊維大学	戸高太郎 張 子露 金尾伊織	鋼構造論文集 Vol.32 No.128	日本鋼構造協会	12月
6	鉄骨造の基礎梁を想定した既製杭パイルキャップの構造実験	奥村組 " " 芝浦工業大学	和田湧気 山上 聡 岸本 剛 岸田慎司	日本建築学会技術報告集 第32巻 第80号 pp.133-138	日本建築学会	2026年 2月

講演会発表論文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
7	コンクリート床スラブ付きH形鋼梁の塑性変形性能評価	京都工芸繊維大学 奥村組 京都工芸繊維大学	平尾真也 張 子露 金尾伊織	2025年度 日本建築学会 近畿支部研究発表会	日本建築学会	6月
8	表面含浸材を塗布し長期暴露したモルタル試験体の長期性能の確認 (その1. 実験概要と外観観察結果)	東洋建設 芝浦工業大学 浅沼組 奥村組 西武建設 東亜建設工業 ピーエス・コンストラクション 芝浦工業大学	大賀智史 濱崎 仁 新田 稔 伊藤 淳 山岸直樹 山田雅裕 中瀬博一 入江 徹	日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 1124	日本建築学会	9月
9	コンクリート用養生材の性能評価方法と品質基準のための検討 (その2. 品質基準に関する検討)	芝浦工業大学 " 竹中工務店 佐藤工業 熊谷組 東急建設 清水建設 奥村組 大林組 安藤ハザマ	坂井春菜 濱崎 仁 小島正朗 伊藤 駆 五百蔵沙耶 古川雄太 楠元宏治 河野政典 堀田和宏 砂川大栄	日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 1152	日本建築学会	9月
10	再生骨材の実製造プロセスにおけるCO ₂ 固定量に関する研究 その3 XRD/リートベルト分析結果とCO ₂ 固定能力の評価	五洋建設 青木あすなろ建設 浅沼組 安藤ハザマ 奥村組 熊谷組 鴻池組 鉄建建設 東急建設 東京テクノ 東洋建設 長谷工コーポレーション 矢作建設工業	高橋祐一 村井克綺 新田 稔 吉野 玲 伊藤 淳 五百蔵沙耶 山下純太郎 川又 篤 古川雄太 松田信広 岸本豪太 井出朋孝 清水啓介	日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 1211	日本建築学会	9月
11	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブコンクリートの基礎検討 その1 検討概要とモルタル実験計画	東急建設 青木あすなろ建設 浅沼組 安藤ハザマ 奥村組 鴻池組 五洋建設 東京テクノ	古川雄太 村井克綺 新田 稔 鈴木好幸 伊藤 淳 住 学 高橋祐一 松田信広	日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 1229	日本建築学会	9月

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
12	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブ コンクリートの基礎検討 その4 再生骨材製造時の副産物とCCU材料がモルタルに及 ぼす影響	東急建設 青木あすなろ建設 浅沼組 安藤ハザマ 奥村組 鴻池組 五洋建設 東京テクノ	古川雄太 村井克綺 新田 稔 鈴木好幸 伊藤 淳 住 学 高橋祐一 松田信広	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1232	日本建築学会	9月
13	各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンク リートの性状 その22 膨張コンクリートの性能	鴻池組 青木あすなろ建設 奥村組 銭高組 鉄建建設 東急建設 矢作建設工業	山下紘太郎 村井克綺 河野政典 蘭井孫文 唐沢智之 古川雄太 清水啓介	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1327	日本建築学会	9月
14	高炉スラグ微粉末を混和材として用いたFc48N/mm2レベルの コンクリートの性状 (その2)室内実験におけるフレッシュコンクリート	鉄建建設 浅沼組 奥村組 鴻池組 東洋建設 長谷工コーポレーション	川又 篤 新田 稔 伊藤 淳 福田悠人 安田正雪 井出朋孝	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1342	日本建築学会	9月
15	H形断面梁端溶接部の亀裂進展に及ぼす溶接欠陥の影響 その10: 大型断面梁; 欠陥高さを因子とした有限要素数値解析	神戸大学 〃 近畿大学 奥村組 (元)京都大学 角藤 〃	松本優大 田中 剛 高塚康平 上田 遼 田原侑季 西澤 淳 塚大空哉	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1535	日本建築学会	9月
16	H形断面梁端溶接部の亀裂進展に及ぼす溶接欠陥の影響 その11: 寸法効果に関する考察	奥村組 神戸大学 近畿大学 (元)京都大学 神戸大学 〃 角藤	上田 遼 田中 剛 高塚康平 田原侑季 松本優大 西澤 淳 塚大空哉	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1536	日本建築学会	9月
17	建設3Dプリンターで製造した外殻枠を用いたRC梁の曲げ性能 に関する実験的検討	奥村組 〃 〃	伊藤 淳 齋藤隆弘 ヒスワス ラジブ・マル	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 1773	日本建築学会	9月
18	ドリフトピン本数が柱梁接合部の高温時曲げ耐力に及ぼす影響	千葉大学 奥村組	菊地毅之 齋藤俊輔	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 3055	日本建築学会	9月
19	中大規模建築物に適用するCLTを使用した階段の開発・検討 (その2)耐火実験	奥村組 戸田建設 大成建設 桜設計集団 〃	平野 晋 寺本武史 田中 良 加来千紘 安井 昇	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 3063	日本建築学会	9月
20	フェルナン・プイヨンのベルカステル村修復に関する研究 ー城と村の一体性に着目してー	奥村組 筑波大学	古市麻菜子 松原康介	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 9103	日本建築学会	9月
21	相模総合補給廠一部返還地の土地利用計画案	奥村組、芝浦工業大学	南 一誠	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 14060	日本建築学会	9月
22	様々な杭配置に対する群杭効率評価法の研究 (その5: 杭間隔や杭径が異なる群杭の3次元有限要素法解 析)	マインド 〃 奥村組 鋼管杭・鋼矢板技術協会 〃 〃 芝浦工業大学	藤原良博 塩見忠彦 和田湧気 時田友典 内藤綾乃 廣瀬智治 土方勝一郎	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 20226	日本建築学会	9月
23	様々な杭配置に対する群杭効率評価法の研究 (その6: 杭間隔や杭径が異なる群杭への適用)	芝浦工業大学 マインド 〃 奥村組 鋼管杭・鋼矢板技術協会 〃 〃	土方勝一郎 藤原良博 塩見忠彦 和田湧気 市川和臣 南 貴士	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 20227	日本建築学会	9月
24	様々な杭配置に対する群杭効率評価法の研究 (その7: 加力方向による群杭効率への影響)	奥村組 マインド 〃 鋼管杭・鋼矢板技術協会 〃 〃 芝浦工業大学	和田湧気 藤原良博 塩見忠彦 柳 悦孝 森本 凌 土方勝一郎	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 20228	日本建築学会	9月
25	免震建物の擁壁衝突におけるエネルギーを用いた上部構造応 答の評価	奥村組 〃 〃 〃	洲鎌 星 山上 聡 小山慶樹 安井健治	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 21034	日本建築学会	9月

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
26	直置き型構造物の強震動に対する地震応答低減効果の実験的検証 (その1 すべり面への上下地震動の影響検証)	奥村組 " 東北大学 東北大学大学院 奥村組 東北大学 奥村組 東北大学大学院	小山慶樹 洲鎌 星 榎田竜太 大塚竜紀 安井健治 五十子幸樹 山上 聡 村山剛基	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 21433	日本建築学会	9月
27	直置き型構造物の強震動に対する地震応答低減効果の実験的検証 (その2 3層直置き型構造物)	東北大学 奥村組 東北大学 奥村組 " 東北大学 奥村組 東北大学	大塚竜紀 洲鎌 星 榎田竜太 小山慶樹 安井健治 五十子幸樹 山上 聡 村山剛基	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 21434	日本建築学会	9月
28	GAを用いたKerf Bendingアーチの形状制御に関する基礎的研究	芝浦工業大学 " 奥村組 芝浦工業大学 芝浦工業大学	高井宏起 白羽健人 大木智史 小澤雄樹	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 22082	日本建築学会	9月
29	カーフ加工された木質系パネルの構造性能に関する実験的検討	芝浦工業大学 " 奥村組 芝浦工業大学	高井宏起 白羽健人 大木智史 小澤雄樹	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 22083	日本建築学会	9月
30	中大規模建築物に適用するCLTを使用した階段の開発・検討 (その1) 概要および構造実験	熊谷組 戸田建設 奥村組 " 近畿大学	中里太亮 寺本武史 室町瑛人 平野 晋 福本晃治	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 22128	日本建築学会	9月
31	せん断コッターを用いたCLT耐震壁の研究 その1 構造実験および結果	奥村組 " " " シェルター	富田直樹 小妻靖知 山際 創 秋竹壮哉 伊藤克彦	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 22469	日本建築学会	9月
32	せん断コッターを用いたCLT耐震壁の研究 その2 実建物への適用	奥村組 " " " " シェルター	小妻靖知 富田直樹 山際 創 平野 晋 秋竹壮哉 伊藤克彦	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 22470	日本建築学会	9月
33	扁平梁工法の構造性能に関する実験的研究 その3 ねじり破壊および梁せいの大きい部分架構実験の概要	奥村組 " " " "	浜口慶生 山際 創 秋竹壮哉 岸本 剛 服部晃三	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 23110	日本建築学会	9月
34	扁平梁工法の構造性能に関する実験的研究 その4 実験結果	奥村組 " " " "	山際 創 浜口慶生 秋竹壮哉 岸本 剛 服部晃三	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 23111	日本建築学会	9月
35	扁平梁工法の構造性能に関する実験的研究 その5 実験結果の考察	奥村組 " " " "	秋竹壮哉 浜口慶生 山際 創 岸本 剛 服部晃三	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 23112	日本建築学会	9月
36	浮き床用緩衝材の種類による動的ばね定数の試験方法の検討	奥村組 栗本鐵工所 ゼオン化成 日本大学	阪本一生 鹿倉潤二 三木良明 井上勝夫	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 40134	日本建築学会	9月
37	居住環境における騒音の受忍限度に関する一考察(その2)	奥村組 日本大学 栗本鐵工所	小田 聡 井上勝夫 鹿倉潤二	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 40140	日本建築学会	8月
38	オープンイノベーション拠点における知的生産性・満足度の継続調査と運用改善	明治大学大学院 明治大学 奥村組 "	松原明香 樋山恭助 岩下将也 神長侑磨	日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州) 41052	日本建築学会	9月

雑誌掲載報文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
39	木材の利用と環境配慮型コンクリート、生物多様性によるESG／SDGsへの取り組み	奥村組 "	河野政典 長 千佳	建設機械施工 Vol.77 No.6(904) pp.93-98	日本建設機械 施工協会	6月
40	奥村組 西川口寮	奥村組 " シェルター	山際 創 小妻靖知 伊藤克彦	MESNSHIN No.129 pp.7-12	日本免震構造 協会	7月
41	OMR／B工法とOMR／B-2工法	丸五基礎工業 奥村組	今井康幸 林 芳尚	基礎工 Vol.53 No.8(625) pp.26-28	榊総合土木研 究所	8月
42	中高層木造建築の設計と施工 CLT耐震壁の構造実験と実題モックアップを用いた施工性の検証	奥村組 " "	富田直樹 佐藤太輝 小妻靖知	建設機械施工 Vol.78 No.3(913) pp.34-40	日本建設機械 施工協会	2026年 3月

【環境系】(2025年4月～2026年3月)

査読付論文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
1	指定廃棄物搬送におけるビッグデータを用いた搬送時間予測に関する研究	奥村組 伊藤忠テクノソリューションズ 東京都市大学	羽瀧博臣 大塚義一 児玉総司 羽間 収 矢吹信喜	土木学会論文集 Vol.82 No.22 2026	土木学会	2026年 3月

講演会発表論文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
2	酸化還元環境変化が与える掘削岩からの砒素溶出特性への影響評価手法の検討	奥村組 岩手大学	清水裕也 鈴木奨士 大河原文文	第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 S2-01 pp.145-149	廃棄物資源循環学会ほか	6月
3	難透水層の土粒子内部から帯水層への物質移動を想定した二段階拡散モデルにおける各パラメーターの影響	奥村組 国立環境研究所 奥村組 京都大学	鈴木奨士 肴倉宏史 小河篤史 清水裕也 高井敦史	第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 S1-32 pp.130-135	廃棄物資源循環学会ほか	6月
4	地歴調査で収集する資料の使い方に関する調査	土壌汚染対策コンソーシアムWG (奥村組) 和歌山大学 土壌汚染対策コンソーシアムWG 和歌山大学	長 千佳 岡本莉子 吉田宗久 鍵本 司 藤井なつみ 江種伸之	第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 S2-23 pp.250-254	廃棄物資源循環学会ほか	6月
5	浮遊型人工湿地による硝酸性窒素等を対象とした水質浄化技術の検討	奥村組 国立環境研究所 奥村組 国立環境研究所 奥村組	木本朝美 尾形有香 長 千佳 鈴木亮士 肴倉宏史 清水裕也	第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 S2-30 pp.280-285	廃棄物資源循環学会ほか	6月
6	人への曝露に関する土壌の特性評価(ISO15800)に関する検討	土壌環境センター(奥村組) 土壌環境センター (国立環境研究所) 国立環境研究所	小河篤史 肴倉宏史 平田 桂 ISO/TC190 検討部会	第30回 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 S4-24 pp.539-544	廃棄物資源循環学会ほか	6月
7	原料組成比を変えた模擬木質バイオマス燃焼灰によるCO ₂ 吸着機構の解明	明治大学 奥村組 明治大学	西田和樹 鈴木奨士 大矢好洋 加藤雅彦	第60回 地盤工学研究発表会 24-7-3-03	地盤工学会	7月
8	災害廃棄物の種類と量の推定 ー令和6年能登半島地震・災害廃棄物仮置場における実証実験ー	奥村組 スペースエンターテインメントラボラトリー	羽瀧博臣 今井亮介 藤村 基 山浦秀作	第60回 地盤工学研究発表会 DS-5-12	地盤工学会	7月
9	粘性土間隙水中での滞留時間がその後の拡散溶出挙動に及ぼす影響	奥村組 国立環境研究所 奥村組 京都大学	鈴木奨士 肴倉宏史 小河篤史 清水裕也 高井敦史	第60回 地盤工学研究発表会 DS-6-04	地盤工学会	7月
10	希少植物クロホシクサの地域集団の遺伝的多様性と遺伝子発現情報による保全策	奥村組 東北大学 九州大学 国立科学博物館 茨城県霞ヶ浦環境科学センター 筑波大学	白石祐彰 陶山佳久 牧野能士 高橋大樹 田中法生 小幡和男 津村義彦	土木学会第80回年次学術講演会 VII-16	土木学会	9月
11	抽出試験による木質バイオマス燃焼灰へのCO ₂ 吸着量の予測	明治大学 奥村組 明治大学	西田和樹 鈴木奨士 大矢好洋 加藤雅彦	第16回 環境地盤工学シンポジウム 2-1 pp.35-38	地盤工学会	9月
12	異なる温度条件下における粘性土からの重金属等溶出挙動と二段階拡散溶出モデルによる計算値との比較	奥村組 国立環境研究所 奥村組 京都大学	鈴木奨士 肴倉宏史 小河篤史 清水裕也 高井敦史	第16回 環境地盤工学シンポジウム 10-4 pp.321-328	地盤工学会	9月
13	酸化触媒を用いたPFAS除去技術の開発	奥村組 国立環境研究所 名古屋大学	清水裕也 鈴木奨士 小河篤史 松神秀徳 山田泰之	第36回 廃棄物資源循環学会研究発表会 The 36th Annual Conf. of JSMCWM(2025) F2-1-0 pp.553-554	廃棄物資源循環学会	9月
14	指定廃棄物搬送におけるビッグデータを用いた到着時刻予測に関する基礎的検討	奥村組 伊藤忠テクノソリューションズ 東京都市大学	羽瀧博臣 児玉総司 矢吹信喜	土木情報学シンポジウム講演集 Vol.50 2025 pp.13-16	土木学会	9月

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
15	つくば市におけるシロバナナガバノイシモチソウなどの湿地性植物の移植作業とその後の生育状況	奥村組 " 筑波大学 " "	長 千佳 富山陽子 鈴木奨士 藤平真理子 東 花奈 上條隆志	第30回 植生学会年次学術大会 B01 p.34	植生学会	10月

雑誌掲載報文

No.	標 題	所 属	氏 名	掲載論文集	主 催	2025年
16	ハイバースペクトルを用いた災害廃棄物の種類と量の推定	奥村組	羽渕博臣	建設機械施工 Vol.77 No.10(908) pp.61-66	日本建設機械 施工協会	10月
17	災害廃棄物処理の支援システム 遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化	奥村組	羽渕博臣	土木施工 Vol.67 No.3(831) pp.106-110	オフィス・ス ペース	2026年 3月
18	奥村組技術研究所ビオトープの自然共生サイト登録と生物多様性保全の取組	奥村組	山下大佑	持続可能社会推進コンサルタント協 会会報 第100号 pp.32-37	持続可能社会 推進コンサル タント協会	2026年 3月

令和 7 年度土木学会賞（技術賞）
（公益社団法人土木学会）

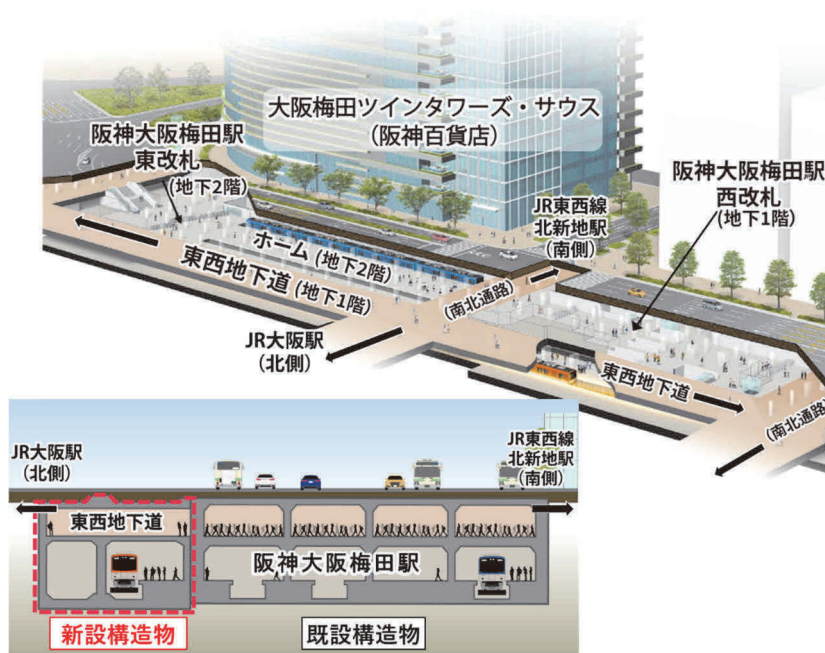
プロジェクト名：阪神大阪梅田駅改良及び東西地下道躯体拡幅工事

－高被圧地下水をもつ大阪梅田で大規模開削工事に挑む－

土木学会技術賞とは、1920 年（大正 9 年）に創設された伝統ある土木学会賞 10 種のうちの一つであり、土木技術の発展に顕著な貢献をなし、社会の発展に寄与したと認められるインフラの計画、設計、施工または運用やメンテナンス等の画期的な個別技術、画期的なプロジェクトに授与されるものである。

本プロジェクトでは、地下空間の拡張と駅・地下道の改良が進められた。阪神大阪梅田駅では狭小なホームにおける安全性や利便性の向上が、東西地下道ではクランク形状による視認性不足と混雑が、それぞれ課題となっていた。また、地下空間の拡張に伴い、地下道利用者の動線確保に加え、高被圧水に起因する異常出水への対応も求められた。

これらの課題を克服し、施工条件の厳しい開削工事を無事に完遂するとともに、社会の発展に寄与した点が、土木学会技術賞に値するものとして評価された。



全体概要図



施工中の状況



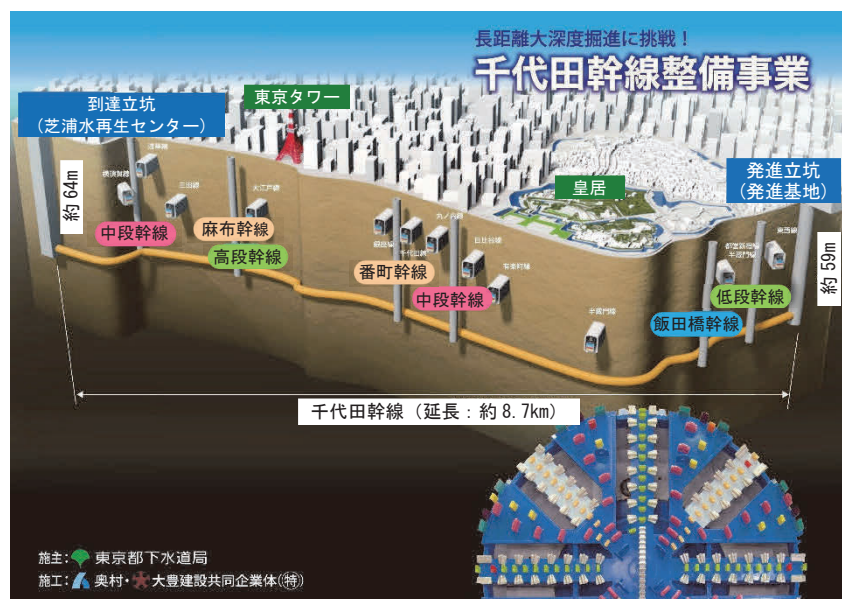
日建連表彰 第6回 土木賞 (一般社団法人日本建設業連合会)

プロジェクト名：千代田幹線整備事業

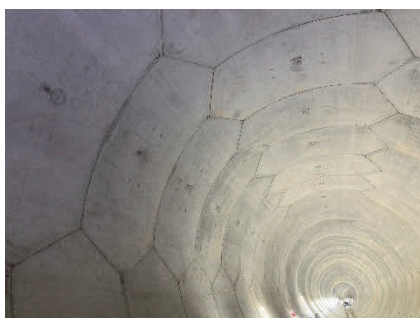
日建連表彰土木賞は、社会基盤として国民生活と経済活動を支える土木分野の優れたプロジェクト・構造物を表彰するため 2020 年に創設された。施工者団体が設ける賞として、事業企画から維持管理までの総合評価に加え、施工プロセスの視点（施工プロセスの改善、良質な社会資本の効率的創出、土木技術の発展・伝承など）に基づいて選考される。

千代田幹線整備事業は、全長約 8.7 km、仕上り内径 $\phi 4,900$ mm の管きょを泥水式シールド工法により構築する事業である。過去に類をみない大深度・長距離施工のため、掘進区間は重要埋設物との縦横断・併走区間があり、地盤変状や既施設物への影響を最小限にとどめること、中間立坑を設置できず 1 スパンの下水道シールドとしては日本最長であることなど複合的な課題があり、極めて困難なプロジェクトであった。

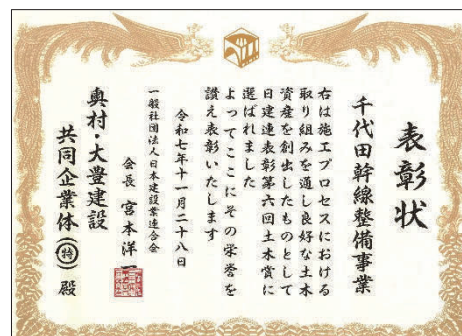
約 10 年の歳月を経て都心部を縦断する超長距離・大深度の下水道構築へ、発注者、施工者その他多様な関係者らが一丸となり事業を成し遂げたことが評価され、日建連表彰土木賞に値するものと認められた。



全体概要図



坑内



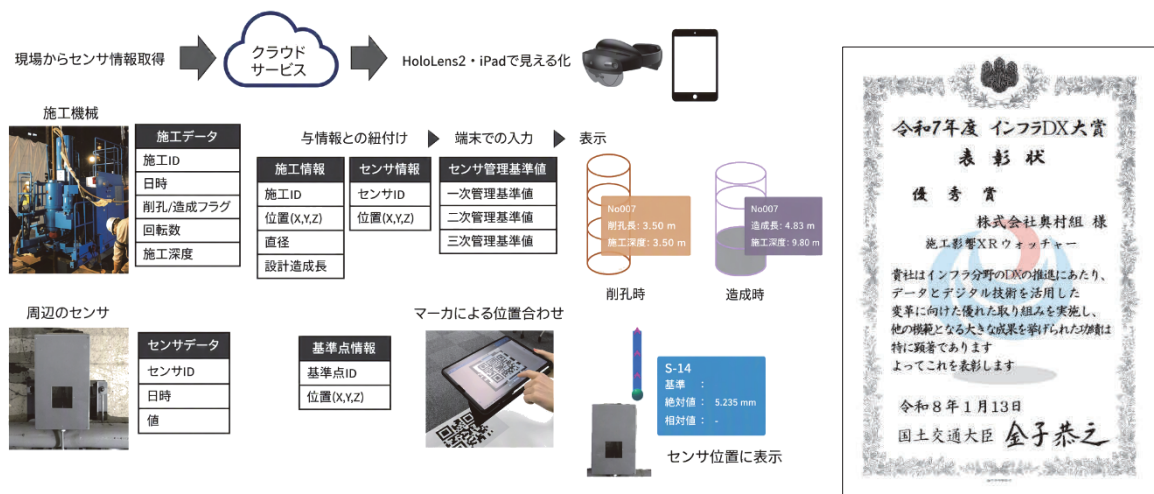
令和7年度インフラDX大賞 優秀賞
(国土交通省)

対象技術： 地盤改良進捗可視化システム「施工影響 XR ウォッチャー」

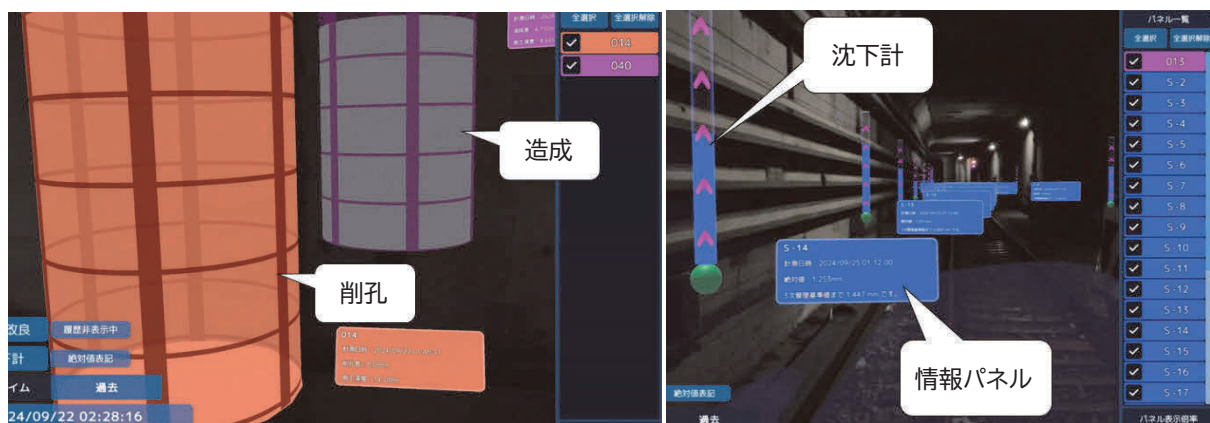
当社が開発した「施工影響 XR ウォッチャー」が、国土交通省主催の令和 7 年度「インフラ DX 大賞」において優秀賞を受賞した。本表彰は、インフラ分野におけるデジタルトランスフォーメーション (DX) の推進と、生産性・安全性の向上に資する優れた技術や取り組みを表彰するものである。

施工影響 XR ウォッチャーは、地盤改良工事における施工状況と周辺地盤の挙動を XR (AR・MR) 技術によりリアルタイムに可視化するシステムである。施工機械や各種センサから取得したデータをクラウド上で統合し、従来は把握が困難であった地下施工の状況や地盤の変位を可視化する。これにより、現場において直感的かつリアルタイムに状況を把握できる環境を実現した。

本システムの活用により、異常の早期発見による安全性向上、監視業務の効率化・省力化に加え、経験の浅い技術者を含む関係者間での円滑な情報共有を実現する。当社は、今後もデジタル技術を活用した建設現場の高度化に取り組み、安全・安心なインフラ整備と生産性向上に貢献していく。



システムの概要



地盤改良進捗（左）と沈下隆起の監視（右）の可視化

第 22 回／2025 年「超 モノづくり部品大賞」生活・社会課題ソリューション 関連部品賞（モノづくり日本会議／日刊工業新聞社）

部品名：VOD®（性能可変オイルダンパー）

株式会社奥村組（開発担当者：小山慶樹、洲鎌 星、山上 聡、舟木秀尊）

国立大学法人東北大学および有限会社シズメテックと共同開発した性能可変オイルダンパー「VOD®」が、「超モノづくり部品大賞※」において生活・社会課題ソリューション関連部品賞を受賞した。

免震建物では、長周期地震動の影響で免震層の水平変位が過大となり、擁壁衝突や免震装置の損傷が懸念されている。奥村組名古屋支店（2008 年竣工の基礎免震構造）においても同様の課題があり、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動を想定すると、水平クリアランスを超える変位が生じ、擁壁に衝突する可能性があった。

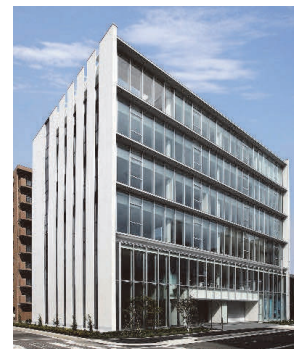
そこで、大地震時までは従来の免震性能を維持しつつ、巨大地震時にはダンパー自らが免震層の変位を検知して自動で性能を切り替え、過大な水平変位を抑制する性能可変オイルダンパー「VOD®」を開発した。なお、地震終了後、VOD は自動で切り替えた性能を元に戻し、余震にも備えることができる。2024 年 7 月に名古屋支店に設置されていた既存オイルダンパーをすべて開発した VOD へ交換し、長周期地震動対策を実施した。これら一連の成果が高く評価され、今回の受賞に至った。

今後は、巨大地震時の変位抑制効果を活かし、狭小敷地へ VOD を用いた免震建物を提案し、免震建物の普及に貢献していきたい。

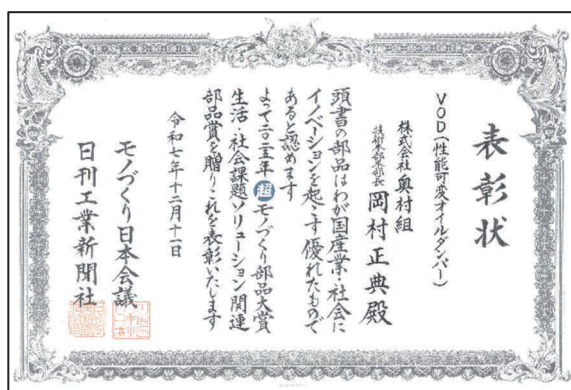
※) 「超モノづくり部品大賞」は、日本のモノづくりの競争力向上を目的として、産業・社会の発展に貢献する“縁の下の力持ち”となる部品・部材に贈られる賞である。



奥村組名古屋支店に設置した VOD



名古屋支店外観



iF Design Award 2026 (iF International Forum Design)

対象作品： 奥村組西川口寮

iF Design Award は、ドイツ・ミュンヘンを本拠地とする「iF International Forum Design」が、1954 年より主催しているデザイン賞である。Red Dot Design Award と同様に世界三大デザイン賞のひとつとして認知されており、世界各国から集まった応募作品の中から、アイデア、造形、機能、差別化、サステナビリティという 5 つの審査基準に基づき、優れたデザインが選出される。

本物件は、脱炭素社会の実現に向け、社会的関心が高い「中高層木造」を实践した建物であり、地上 8 階建ての RC 造と木造のハイブリッド構造で、中間免震構造を採用している。構造材がそのまま内装となるよう木質耐火部材や CLT を使用し、外部ルーバーや軒にも木材を採用することで、建物内外で木のぬくもりを感じられるデザインとした。

なお、本物件は 2025 年度グッドデザイン賞も受賞している。



概要

事業主	株式会社奥村組
設計・監理	株式会社奥村組東日本支社 一級建築士事務所
規模・構造	地上 8 階 木造一部 RC 造
施工場所	埼玉県川口市

第 59 回日本サインデザイン賞-大賞・経済産業大臣賞(日本)、
世界三大デザイン賞他合計 46 件 受賞報告

施設名：共英製鋼株式会社山口事業所新事務所棟（山陽小野田市）



共英製鋼山口事業所新事務所棟が「日本サインデザイン賞 - 大賞・経済産業大臣賞」及び「Red Dot Award (Brands & Communication Design) 2025（ドイツ）」、「International Architecture Awards 2025」シカゴ・アテナイオン国際建築賞 - Winner（アメリカ）に選ばれた。日本サインデザイン賞は、1966 年に創設された公益社団法人日本サインデザイン協会が主催する、日本で唯一のサインデザインを対象とした顕彰事業で優れた作品を広く社会に発信し、サインデザインの普及と啓発を図ることを目的としている。Red Dot Design Award は世界三大デザイン賞の一つであり、ドイツ・エッセンを本拠地とする「ノルトライン・ヴェストファーレン・デザインセンター」が主催する 1955 年に設立されたデザイン賞である。毎年世界中から数万件の応募が集まる中、デザインの革新性、機能性、人間工学、エコロジー、耐久性など、厳格な審査基準をクリアした優れたデザイン作品のみが選出される。建築デザインにおいて最も権威のある賞の International Architecture Awards 2025 ではザハ・ハディッド・アーキテクト、リチャード・マイヤー、アルバロ・シザ、安藤忠雄氏等の著名な設計事務所や建築家と同時に受賞しており、巨匠作品と同等の評価を受けた。また、そのほか世界各国の合計 46 件の賞を受賞している。

主要用途	事務所	延べ面積	3,931.89 ㎡
所在地	山口県山陽小野田市	構造・規模	RC 造・地上 4 階
発注者	共英製鋼株式会社	竣工年	2024 年
設計・監理者	株式会社奥村組	備考	デザイン監修:エムアールスタジオ株式会社



受賞歴 ※2026 年 7 月 1 日現在

- 01. 第 59 回 SDA 賞 / 日本サインデザイン賞 - 大賞・経済産業大臣賞（日本）
- 02. Red Dot Award (Brands & Communication Design) 2025（ドイツ）
- 03. International Architecture Awards 2025 シカゴ・アテナイオン国際建築賞 - Winner（アメリカ）

他合計 46 件受賞



奥村組特定研究報告

No.35

センシングデータを用いた 4D 施工管理システムの高度化に関する研究

2025.5

大阪大学 博士(工学) 高尾 篤志

ATSUSHI TAKAO
Dr. Eng. The University of Osaka

この「奥村組特定研究報告」は著者が
大阪大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

センシングデータを用いた 4D 施工管理システムの高度化に関する研究

論文の要旨

本論文は、建設工事におけるセンシングデータを用いた 4D 施工管理システムの高度化に関するもので、IoT (Internet of things) センサにより取得したセンシングデータを活用し、施工進捗に伴うセンサの計測値の変動を誤認せずに可視化できる 4D モデル・センサ施工管理 (4DSCM: 4D model Sensor Construction Management) システムおよび自動的に盛土工事のトレーサビリティデータを作成可能な土砂トレーサビリティ管理システムを提案するものである。本論文は、以下に示す 6 章から構成される。

第 1 章では、研究の背景として、国内建設業の労働者不足に対する国土交通省の方策を挙げ、ICT (Information and Communication Technology) や IoT センサの導入により、生産性向上の効果が現れる一方、ICT 機器や IoT センサのより取得される膨大なデータ処理に労力を要する点、センシングデータ以外の施工管理上のデータとの関連付けが必要である点、盛土工事におけるトレーサビリティを確保するにあたって、IoT センサなどによる自動的なデータの取得が必要である点を挙げた。また、研究の目的は、IoT センサや ICT 機器から取得されるデータと 4D BIM/CIM モデルを統合した 4D 施工管理システムにより、建設現場における進捗管理、品質管理および安全監視の精度向上と効率化を行う手法を提案し、実現場における検証を通じて建設現場の生産性向上に寄与することであることを述べた。

第 2 章では、IoT センサのデータと BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling, Management) の統合、建設分野のトレーサビリティ、土工事の管理に関する既往の研究をまとめ、4D BIM/CIM モデル上においてセンシングデータの可視化による計測管理業務の高度化と、IoT センサによるダンプトラックのセンシングによる盛土工事のトレーサビリティ管理による効率化の観点において、本論文の新規性を示した。

第 3 章では、4DSCM システムの構成を説明し、工事進捗により施工場所の状況が変化する中で、センシングデータを工事進捗と合わせて一元管理し、センサの移設が発生する施工状況の中でも円滑な情報共有を可能とする手法として、4D BIM/CIM モデルと工程データ、センシングデータを関連付ける方法論をまとめた。また、提案した 4DSCM システムを鉄道近接工事における函体構築工事に適用し、効果を検証した。4D BIM/CIM モデルと連動してセンシングデータ管理することで、センシングデータの変動要因を円滑に確認できることを示した。

第 4 章では、4DSCM システムに複数の種類、複数の位置のセンサのセンシングデータの統計分析を行った。センサを計測項目、設置位置により分類し、センシングデータ間の相関関係を示した。分析結果をもとに、センシングデータの変動発生時に実施されていた作業状況との関連性を調査し、施工現場における設置済みセンシングデータを基にした将来的なセンシングデータの変動の予測の可能性を示した。

第 5 章では、土砂トレーサビリティ管理システムの構成について説明し、ダンプトラックのセンシングデータと ICT 土工において取得される転圧施工履歴データを使用して盛土工事のトレーサビリティデータを作成する方法論をまとめた。また、土砂トレーサビリティ管理システムを工業団地の造成工事において適用し、効果を検証した。

土砂運搬のダンプトラックにセンサを取り付け、トレーサビリティデータが自動的に作成できることを確認した。従来の盛土工事のトレーサビリティ管理と比較して、管理作業に必要な労力が削減可能なことを示した。

第 6 章では、本論文の結論をまとめた。本論文で提案した 4DSCM システムは、4D BIM/CIM モデル上における工事進捗とセンシングデータの一元管理を実現でき、施工管理における IoT センサのセンシングデータの活用を容易なものとした。また、同じく土砂トレーサビリティ管理システムは、センシングデータにより盛土工事のトレーサビリティデータの自動作成を実現でき、盛土工事の品質管理として求められるトレーサビリティの確保の効率化が可能であることを示した。今後の課題として、センシングデータの 4D BIM/CIM モデルへの反映のリアルタイム性の向上、ダンプトラックのセンシングにおいて検知精度の向上を進めるとともに、センシングデータを活用した施工管理システムの適用可能な工種の拡大による生産性向上を挙げた。

奥村組特定研究報告

No.36

中層鉄骨造建物の損傷度と変形角に基づく被災後の
継続使用評価に関する研究

2026.3

京都工芸繊維大学 博士(工学) 徳永 真彦

MASAHIKO TOKUNAGA
Dr. Eng. Kyoto Institute of Technology

この「奥村組特定研究報告」は著者が
京都工芸繊維大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

中層鉄骨造建物の損傷度と変形角に基づく被災後の継続使用評価に関する研究

論文の要旨

近年、東北地方太平洋沖地震や熊本地震をはじめ、建物に深刻な被害をもたらす大規模地震が多発している。さらに、今後は東海地震や東南海・南海地震などの巨大地震の発生も懸念されており、被災直後の建物の安全性を迅速に判断する仕組みの重要性が一層高まっている。大地震が発生した際には、まず応急危険度判定が実施され、余震による二次災害を防ぐために建物の使用可否が「危険」「要注意」「調査済」の3区分で判定される。その後、状況が落ち着いた段階で建築構造技術者による被災度区分判定が行われ、建物の復旧の要否や被災程度がより詳細に判断される。

応急危険度判定は、資格を持つ応急危険度判定士が建物の損傷状況を調査し、残留変形角や部材損傷などを確認した上で総合的に判断する制度である。しかし、この判定には高度な専門知識が必要であり、一般利用者が独自に危険度を判断することは難しい。

一方、行政機関や病院などの災害拠点施設では、専門家の到着を待つ時間的余裕がなく、特に災害拠点病院では被災直後から医療活動を再開する必要がある。そのため、専門家が到着するまでの間、一般利用者でも建物の継続した使用可否を判断できる簡易な指標が求められている。

現行の応急危険度判定基準では、残留変形角が判定基準値として用いられており、傾斜の生じている階が2階以上の場合、「危険」は $\delta/h > 1/50$ (δ : 残留変形、 h : 階高) と規定されている。応急危険度判定では、残留変形に加えて部材や接合部の損傷などを確認した上で、総合的に判定するため、残留変形の判定値そのものは大きな値となっている。この基準値を再評価すれば、残留変形のみの判断で、専門家が到着するまでの使用の可否を判定できる可能性がある。

本研究では、専門家が到着するまでの間に一般利用者が建物の使用可否を判断できる可能性を検討することを目的として、旧耐震基準および現行耐震基準で設計された鉄骨造建物(6階建て2スパン・3スパン、3階建て2スパン)を対象に、気象庁等において震度6弱以上を記録した115地点の地震動を用いて地震応答解析を実施した。梁端部損傷度 D 、損傷確率、最大層間変形角、残留変形角の関係を評価し、安全性および危険度判定基準に関する基礎的検討を行った。

第1章では、研究対象とした医療施設の特徴や既往研究の整理を行い、本研究の背景および目的を明確化した。医療施設は災害時に継続利用が求められるため、被災直後の迅速な安全確認が特に重要であることを示した。

第2章では、現行耐震基準建物を対象に最大層間変形角、残留変形角、損傷度 D の関係を明らかにし、これらの関係式を提案した。さらに既往の応急危険度判定基準や建物の崩壊余裕度評価との比較を行い、既存基準の妥当性と課題を検討した。その結果、残留変形角による新たな判定基準値として、「安全」1/197未満、「要注意」1/197～1/121、「危険」1/121以上を提案した。既存基準と比較すると、多くの区分で提案値の方が小さく、また建物の崩壊余裕度評価との比較においても、提案基準値の方が小さいことを示した。

第 3 章では、フラジリティ曲線を用いて損傷確率を評価し、損傷度区分と変形角の関係を確率論的に整理した。「要注意」と「危険」の境界では、「危険以上」の損傷確率が 60%以上となることを確認した。損傷確率 50%に対応する変形角を新たな判定基準値として提示した。これにより、目的に応じて損傷確率を調整し、柔軟な判定基準を設定できる可能性を示した。

第 4 章では、旧耐震基準建物の解析を行い、現行耐震基準建物とは異なる応答特性を確認した。旧耐震基準建物では上層部の地震力が小さく算定されるため部材断面が小さく、変形しやすい傾向がある。そのため残留変形角が大きくなりやすく、変形角のみで靱性を評価すると誤判定につながる可能性を示した。

第 5 章では、現行耐震基準建物と旧耐震基準建物を比較し、耐震基準の違いが判定基準値に大きく影響することを明らかにした。旧耐震基準建物では「要注意」と「危険」の境界となる残留変形角が現行耐震基準建物の約 2 倍、層間変形角も約 1.6 倍となった。これは旧耐震基準建物が粘り強いわけではなく、剛性が低く変形しやすいためであり、耐震基準に応じた判定基準値の設定が不可欠であることを示した。また、損傷確率とベースシアの比較から、現行耐震基準建物の方が明らかに耐力が高いことも確認された。これらの結果から、耐震基準の違いを考慮した判定基準の必要性が示された。

第 6 章では、本研究で得られた結果について記載した。

以上より、本研究は、地震発生直後に専門家が到着するまでの間、一般利用者が残留変形などの簡易指標を用いて建物の使用可否を判断するための基礎的知見を提供するものであり、災害対応の迅速化に寄与する可能性を有していることを示した。

以 上

奥村組特定研究報告

No.37

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する研究
ー 実建物と支承単体における水平剛性の比較と
実建物でのクリープ ー

2026.3

福岡大学博士(工学) 山上 聡

SATOSHI YAMAGAMI
Dr. Eng. Fukuoka University

この「奥村組特定研究報告」は著者が
福岡大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する研究

－ 実建物と支承単体における水平剛性の比較と実建物でのクリープ －

論文の要旨

日本における免震構造の建築物は、1983 年に初めて積層ゴム支承を採用した八千代台免震住宅が完成し、その後、1995 年に発生した兵庫県南部地震を機に普及した。しかし、積層ゴム支承では、使用されるゴム材料の経年による特性変化（主として硬化）が懸念されている。

一般に、積層ゴム支承の水平剛性が増大すると、地震時に上部建物へ伝達される力も大きくなり、上部構造物の耐力や居住性に影響してくる。一方、水平剛性が小さくなると地震時に上部建物の水平変位が大きくなり、周囲とのクリアランスの確保がより必要になる。そのため、設計時には適正な水平剛性の評価を求められている。水平剛性には経年変化も考慮するが、これは熱老化試験による予測値であり、建物の供用期間に相当する 60～80 年程度の実証データは存在しないため、その精度についての検証が求められている。

そこで、①実建物の免震層の経年変化、②建物から抜取った積層ゴム支承の経年変化、③別置き積層ゴム支承の経年変化についての調査、およびこれらの整合性の確認を行い、④水平剛性に関しては経年変化の予測式を提案し検証した。

①では、1986 年に竣工した建物を対象に、静的加力実験による荷重と変位の関係から算出した水平剛性と、自由振動実験による変位の時刻歴波形から算出した水平剛性の変化率は概ね一致し、熱老化試験による予測値内に収まっていた。

また、竣工後からのクリープ量について、いくつかの予測値と計測値を比較した。熱老化試験等による 80 年後の予測値は 3mm 程度であり、既往の文献による計算値は 6mm 程度となる。また、これまでの計測結果の傾向から、今後、経過日数に線形で推移すれば、80 年後は 6mm 程度となり文献式や 1 次形状係数 S_1 による予測値に近いが、経過日数の対数で推移すれば 3.5mm 程度となり熱老化試験の結果に近かった。

②では、31 年目に対象建物から積層ゴム支承を抜取り、水平剛性に関する基本性能を調査した。

限界変形試験を行い、過去に実施された結果と比較すると、せん断ひずみ $\gamma = 300\%$ 以降に急激な剛性増大が見られたが、製造時と同等の $\gamma = 370\%$ という変形能力を維持していた。

建物の静的加力と抜取品の性能検査による荷重変形関係を用い、水平剛性とその経年変化を比較した。 $\gamma = 100\%$ までの载荷である建物の水平剛性は、抜取品の $\gamma = \pm 200\%$ までの試験結果の 1 サイクル目とよく一致しており、両試験の整合性が確認できた。

ゴム物性を測定した結果、ダンベル試験片による 100%変形時の引張応力は、表層から 80mm の範囲が中心部に比べて 15%～25%程度大きくなっていた。外挿すると表層では中心部の 1.5 倍程度と考えられる。せん断試験片による 100%せん断応力も同様の範囲が大きくなっていた。

③では、別置き積層ゴム支承の水平剛性を調査した。別置き積層ゴム支承の性能は、建物から抜き

取った積層ゴム支承の性能とよく一致しており、建屋内で無載荷状態にて保管された積層ゴム支承を用いることで、供用中の積層ゴム支承の経年変化を評価できる可能性が示された。

また、 $\gamma = 50 \sim 200\%$ における割線剛性は、3 サイクル目より 1 サイクル目のほうが大きい、経年による変化は、3 サイクル目のほうが大きかった。

建物から抜取った積層ゴム支承単体の剛性変化率と熱老化試験による予測値を比較すると、 $\Phi 400\text{mm}$ 積層ゴム支承の熱老化試験による予測値と同程度であった。実建物での変化率と積層ゴム支承単体での変化率の違いは、実験時の最大せん断ひずみの違いによるものと考えられる。

④では、経年変化の予測式を提案し、検討した。既往の研究では伊藤らにより、積層ゴム支承に用いるゴム材料の酸化劣化について、温度に依存した深さや、表面での材料特性の経年変化率が示されている。また、栗田らは、伊藤らの研究を円形の積層ゴム支承に反映し、経年による水平剛性の変化率に関する予測式を示している。

この予測式と対象建物における実測結果を比較したところ、従来示されていた「時間の経過とともに変化率が収束する傾向」とは異なり、40 年目頃を境に熱老化試験の結果に比べ、経過年に比例して増大する傾向にあった。これは、表層の材料特性の変化率の予測式に起因していると考えた。

そこで、対象建物での計測結果を基に既往の予測式を修正した。対象建物では、 $\gamma = 100\%$ 程度までの変形では繰り返しの影響は少なく、その特性の変化は材料試験結果に近かった。しかし、 $\gamma = 200\%$ の繰り返しをした場合は材料試験結果にあわず、このとき、その荷重変形関係は 3 サイクル目が小さくなるが、経年変化率は 1 サイクル目より 3 サイクル目のほうが大きかった。そこで、 $\gamma = 200\%$ での経年による剛性変化は、酸化劣化と繰り返しの影響の掛け合わせと仮定し、これを既往の予測式に反映し修正を試みた。既往の予測式を修正した提案式では、酸化劣化による材料特性の変化率を経過年数の対数に比例すると仮定することで、繰り返しの影響が小さい $\gamma = 100\%$ での実建物の実験値とよく一致した。さらに、繰り返しの考慮することで、 $\gamma = 200\%$ の繰り返しの影響を受けている積層ゴム支承の試験結果を安全側に評価できた。

天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化に関する文献調査を行い、提案式の妥当性を検証した。検証に用いた実験データは全 7 ケースであり、提案式と実験データを積層ゴム支承の直径毎に比較した。既往の予測式、提案式ともに直径の違いに対応でき、積層ゴム支承の外形が大きいほど変化率は小さくなる。実験データと比較すると、せん断ひずみ $\gamma = 100\%$ 以下で繰り返しの影響が小さいと考えられるケースでは、酸化劣化による提案式と同程度であり、せん断変形量が大きいケースでは、さらに繰り返しの影響を考慮した提案式に近くなっていた。しかし、積層ゴム支承の外径が大きくなるほど、また、経年が進むほど乖離が見られており、材料特性の変化率や繰り返しの影響については、様々な積層ゴム支承でのデータを評価し補正していく必要があった。

本研究を通して、供用開始から 30 年が経過した積層ゴム支承の健全性を確認することができ、その寿命は当初の予測通り 60 年以上有すると考えられる。積層ゴム支承の経年による特性変化は想定範囲内に収まっていることがわかったが、これは数例の結果であり、信憑性を高めるには更なるデータの蓄積が必要である。また、データの取得は同じ試験方法、評価方法により行い、特に、せん断ひずみおよび繰り返し载荷の影響を十分に考慮する必要がある。

奥村組特定研究報告

No.38

ゲノム情報を活用した効率的な希少植物種の保全研究

2026.3

筑波大学 博士(農学) 白石 祐彰

HIROAKI SHIRAISHI
Ph. D. in Agricultural Science. University of Tsukuba

この「奥村組特定研究報告」は著者が
筑波大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

ゲノム情報を活用した効率的な希少植物種の保全研究

論文の要旨

本研究は、建設事業に伴う土地利用改変と生物多様性保全の両立を目的として、希少植物の保全にゲノム情報を活用する方法を検討した。対象は、環境省レッドリストにおいて絶滅危惧 II 類に分類される、湿地性希少植物であるタチスミレ、ハナムグラ、クロホシクサで、渡良瀬遊水地、菅生沼、小貝川河川敷、つくば市内湿地等において採取した個体を用いた。解析には、ゲノム全体に分布する一塩基多型を効率的に検出できる MIG-seq 法を用い、集団間の遺伝的多様性および遺伝構造を明らかにした。さらに、タチスミレとクロホシクサでは RNA-seq 法を用い、有害変異の蓄積量や重複遺伝子の割合を評価することで、環境変化に対する脆弱性および頑健性を検討した。

建設業は、道路、河川、造成、建築等を通じて社会資本を整備し、安全で快適な社会生活を支える一方、湿地、草地、里山、土壌などの改変を伴うため、希少植物の生息地を消失または分断させる場面がある。近年は、ネイチャーポジティブの実現や生物多様性への配慮が企業活動に強く求められており、建設事業においても、計画段階から希少種の有無を把握し、回避、低減、代償の各措置を合理的に組み合わせることが重要である。特に植物では、同じ種であっても地域集団ごとに異なる進化史や環境適応を有する場合があります。遠隔地の個体や種子を安易に混合すると、地域固有の遺伝的特徴を消失させる遺伝的攪乱が生じる。本研究では、保全対象を過度に細分化して管理コストを増大させることなく、科学的根拠に基づいて適切な保全単位を設定するための知見を示した。

タチスミレでは、近縁普通種であるツボスミレ等と比較して塩基多様度およびヘテロ接合度が低かったことから、遺伝的多様性が小さいことが推定された。RNA-seq 解析でも、同義 SNV（一塩基変異）数がツボスミレより少なく、機能に悪影響を及ぼす可能性がある非同義 SNV の割合が高かったことから、希少化や集団分断に伴う有害変異の蓄積が示唆された。一方、重複遺伝子割合には大きな差がなく、環境変化に対する一定の頑健性は保持している可能性が示された。集団構造では、渡良瀬遊水地・菅生沼系と小貝川河川敷系に遺伝的差異が認められ、移植や種子利用に際しては流域や地点ごとの管理単位を考慮する必要が示唆された。また、野焼き、刈取り、落葉除去等により地表の光環境を改善し、実生更新と交配機会を維持することが有効と考えられた。

ハナムグラでは、菅生沼、小貝川河川敷、渡良瀬遊水地の集団間で明瞭な遺伝的分化は確認されなかった。地下茎が水流で移動して新たな場所で生息する栄養繁殖と、種子繁殖の双方により、河川氾濫を介した遺伝的交流が継続してきたことが推測できた。そのため、これらの集団は大きく一つの保全単位として扱えると考えられた。また、一部では同一遺伝子型の個体が確認されたことから、地下茎がちぎれて流され、流された箇所でも生育したクローンである可能性が示された。保全上は、湿潤環境を維持するだけでなく、湿地の攪乱環境を確保し、多様な個体が交配できる状態を保つことが重要である。

クロホシクサでは、つくば市学園の森にある湿地集団と高エネルギー加速器研究機構内の湿地集団

が遺伝的に明瞭に分化したことから、それぞれを別の保全単位として扱う必要が明らかとなった。開発予定地に生息するクロホシクサを保全する場合、個体移植のみではなく、種子を含む表層土壌や土壌シードバンクを移設し、湿地条件を再現した場所で発芽と更新を促すことも有効である。RNA-seq 解析では、クロホシクサは有害変異の蓄積が少なく、重複遺伝子割合も比較的高かったことから、遺伝的健全性と環境変化への適応力を比較的保持していると評価された。したがって、適切な湿地環境を生息域外に確保できれば、保全および増殖できる可能性は高いことが示された。

以上の結果から、湿地性希少植物の保全では、生育地面積や確認個体数だけでなく、遺伝的多様性、集団間分化、繁殖様式、生息地の履歴を総合して評価することが重要である。タチスミレのように見かけ上は同一流域に分布する種でも、遺伝的には複数のまとまりに分かれる場合があり、移植や種子採取では地域性への配慮が求められる。一方、ハナムグラのように水系を介した交流が推定される種では、過度な分割管理を避けることが費用面や労力面で合理的である。クロホシクサのように開発予定地と周辺湿地で遺伝的分化が明瞭な場合には、移設先の選定や表土利用の範囲を慎重に設定することが望ましい。

本研究の成果は、建設事業における希少植物保全を検討する際、現場調査、保全単位の設定、移植・表土移設、維持管理、モニタリングを科学的に組み立てるための基盤とすることができる。MIG-seq 法は、事前のゲノム情報が少ない非モデル植物にも適用しやすく、保全単位の判断に有効である。RNA-seq 法は、有害変異や環境適応力を評価でき、保全の優先順位や難易度を判断する情報となる。遺伝解析を導入することは、混合してよい範囲や重点管理すべき範囲を明確化し、不要な移植や過剰な管理を避ける効果が期待できる。これらの知見は、環境影響評価や施工計画の段階で保全措置を説明する際の根拠となり、発注者、行政、地域社会に対する説明性の向上に寄与する。

コンクリート打設統合管理システムの 導入効果と改善検討

Effects of Introducing a Concrete Placement Management System and Suggestions for Improvements

三坂岳広* 廣中哲也** 高尾篤志***

要 旨

コンクリート打込み管理業務のデジタル化による生産性向上・業務削減を目的にコンクリート打設統合管理システムを開発し、7 件の現場に適用した。本システムの有効性を評価し改善することを目的に適用現場に対しアンケート調査を行った。アンケート調査の結果として本システムの導入によって業務効率化の効果が認められた一方で、協力業者に業務負荷が発生する等の課題が明らかとなった。

キーワード：建設 DX、デジタル化、打重ね、運搬時間、省力化、アンケート

1. はじめに

建設業では、建設技能者のうち、60 歳以上の割合が約 4 分の 1 を占める一方、29 歳以下は全体の約 12% であり、担い手不足の解消や技術力の継承が課題となっている。これら課題の解決策の 1 つとして、建設現場のデジタル化の促進による生産性向上が求められている。

コンクリートの打込み作業は、土木・建築共に構築する構造物の種類によらず広く実施される。また、多数の専門業者が関わり、高度な作業連携が求められる。さらに、打込みが円滑に進むことは、構造物の品質の確保につながると考えられる。コンクリートの打込み管理業務は、設備や配車等の計画業務、荷卸しや打重ね時間の管理業務、打込み後の報告書作成業務、関係者への情報共有も必要であり、施工管理業務の中でも業務量が多い。よって、これらの業務をデジタル化で一元管理することで、業務効率化が期待できる。

筆者らはコンクリートの打込み計画から報告書作成までの作業を対象に、打込み計画および管理業務の効率化、専門業者等への情報共有の迅速化、トラブルへの早期対応、コンクリート構造物の適正な品質管理の実施を目的としたコンクリート打設統合管理システム²⁾（以下、本システム）を構築した。本システムはクラウド、3D モデル、光学文字認識（OCR）を用いたもので、既に 7 件の現場で適用された。本システムを使用者に評価してもらうことは、PDCA サイクルを回すうえでも必要である。

また、本システム使用者の感想や評価を知ることは、今後のシステム改修を検討する際の貴重なデータとなる。そこで、現場で本システムを実際に使用した人を対象にアンケートを行った。本報では、生産性向上（業務効率化）を目的に開発した本システムに対してアンケート調査を実施し、アンケート結果から業務効率化の効果や運用の課題について分析・考察する。

2. コンクリート打設統合管理システムの概略

図-1 に本システムの概要を示す。本システムは、打込み・運行計画機能、運行管理機能、打込み管理機能の 3 機能から構成される。生コン工場、現場事務所や休憩室等で各専門業者もリアルタイムの情報を確認できるように、クラウドサービスを使用してシステムを構築した。

打込み・運行計画機能では、3D モデルを使用して打込み計画を行い、PC 内でシミュレーションを行うことで、立案した打込み計画の妥当性を検証できる。これによって打重ね時間や打込み速度を考慮した計画が短時間で立案できる。

運行管理機能では、OCR による伝票情報の読み取りや WEB カメラを用いてアジテータ車の荷卸し情報等を自動で収集し、管理サーバでコンクリートの運搬時間等を分析できる。運搬時間や練混ぜから打込み終了までの時間管理は、出荷伝票に印字された時間を基に計算するのが一般的だが、本システムを用いることで自動計算され、

*技術本部技術研究所土木研究グループ **技術本部技術研究所 ***土木本部土木工務部

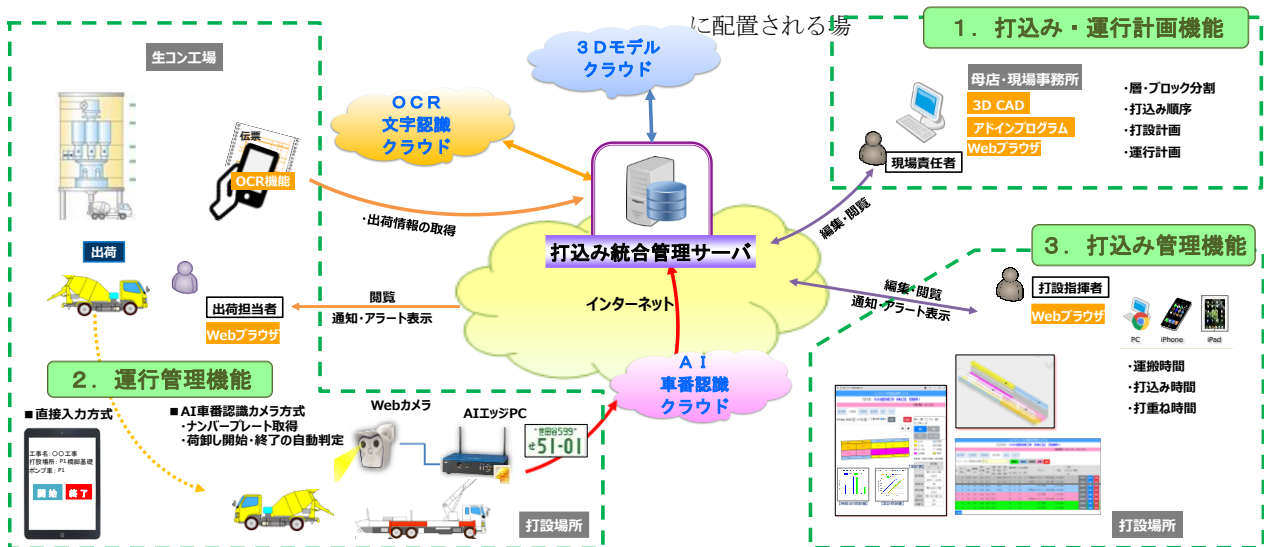


図-1 コンクリート打設統合管理システムの概要

通知機能で打重ね時間等の注意喚起を受けることができます。これにより、出荷伝票を荷卸し場所に確認に行かなくても現在の運行状況をタブレット端末から把握することが可能であり、時間計算も不要になる。今回、アンケート調査を行った現場では、図中の直接入力方式（iPad 操作）で荷卸し開始・終了の情報を登録した。

打込み管理機能では、打込み箇所をタブレット端末で記録する。この作業によって打重ね時間の管理記録を残せるだけでなく、どのアジテータ車のコンクリートがどの部分に打込まれたといったトレーサビリティも可能となる。また、本システムを用いることで事前に立案した計画と実際の施工データをタブレット端末等から図・表で比較することもでき、現状の進捗や課題を正確に把握し、早期に対策を講じることができる。

図-2にアンケートを行った現場での本システムの運用の流れを示す。本システムは、打込み計画段階、打込み段階、報告書作成段階の3段階で打込み業務を支援する。本システムを使用するのは、現場のゼネコン職員と生コン工場の出荷担当および運転手・デリバリーである。

図-3に本システムの打込み計画段階での使用イメージを示す。打込み計画段階で現場が本システムを用いて打込み速度等の諸条件を入力し、打込みの順番を考慮したシミュレーションを行う。このシミュレーションによりポンプ等の能力や打重ね時間等を考慮した適切な打込み・運行計画が可能となる。

図-4に本システムの打込み段階での使用イメージを示す。打込み段階では、生コン工場の出荷担当が伝票を撮影することで、コンクリートの種類、出荷時刻等の情報をクラウドに収集できる。アジテータ車の運転手は、運搬後にコンクリートポンプ車近傍に設置されたタブレット端末等から荷卸しの開始・終了を登録する。この登録時刻より運搬時間・練混ぜから打込み終了までの時間情報を収集する。打込み数量が多くデリバリーが現場

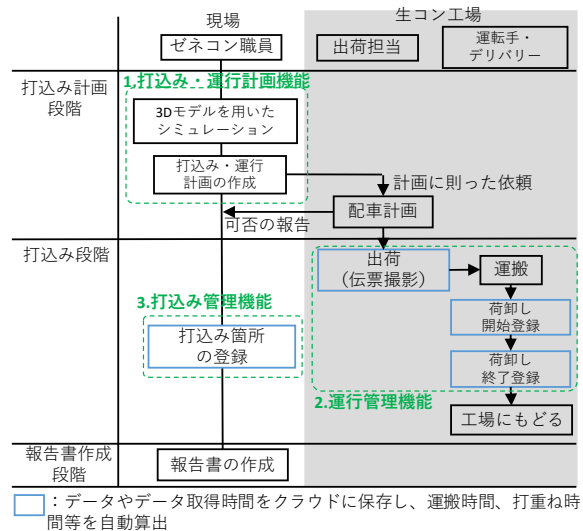


図-2 本システムの運用の流れ

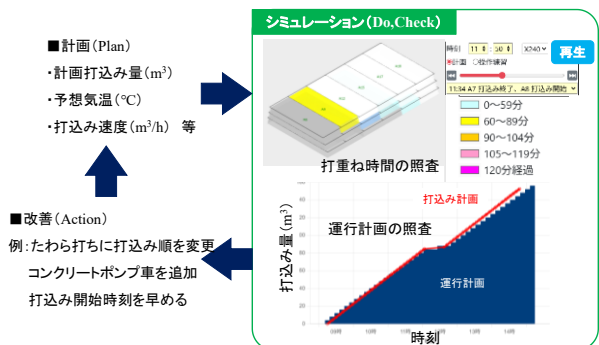


図-3 打込み計画段階での使用イメージ

に配置される場合には、荷卸し開始・終了の登録作業を運転手に代わってデリバリーが行う場合もある。現場管理者は現在の打込み箇所をタブレット端末等で操作して登録し、打重ね時間を確認する。これら情報をクラウドにリアルタイムに集約し、打込み計画と比較することで、



図-4 打込み段階での使用イメージ

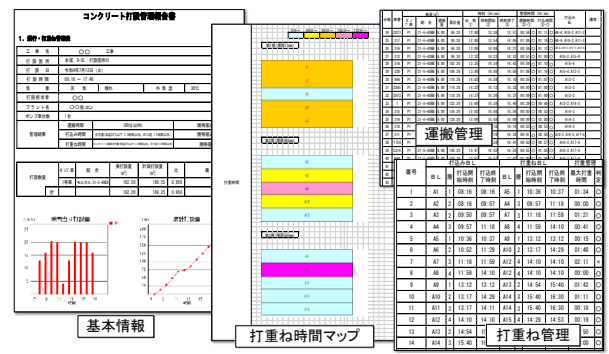


図-5 報告書作成段階での使用イメージ

表-1 本システムの利用者と作業内容

作業段階	利用者	作業内容
打込み計画の作成	ゼネコン（現場職員）	3Dモデルを打込み範囲で割り付け、打込み計画をたてる
出荷	生コン工場（出荷担当）	出荷伝票を写真撮影し、OCRで情報を取り込む
荷卸し	生コン工場（運転手・社外運転手・デリバリー）	現場に設置されたタブレット端末から荷卸し情報を登録する
打込み箇所の指定	ゼネコン（現場職員）	割り付けた打込み箇所をシステムに記録する

打込みの進捗管理や問題点の把握が可能となる。

図-5に本システムの報告書作成段階での使用イメージを示す。報告書作成段階では、現場管理者が発注者ごとの様式を選択し出力することで、上記の情報が図表化された報告書が自動作成される。一般的に打込みの報告書の作成手順は、出荷伝票を整理して帳票をつくり、野帳等の施工記録と合わせて確認しながら図表を作成し、文章を記載する。本システムでは選択した様式に応じて図表等が自動作成されるため、確認・追記をするだけで報告書を作成することができる。本システムの詳細に関しては、既往の文献²⁾に記載がある。

3. アンケート調査の概略

アンケートは、率直な意見を述べてもらえるように無記名式とし、選択式と自由記載を組み合わせたものとした。アンケート対象者は過去に本システムを使用した経験や本システムに関する知識を持つ者は含まれていない。

本システムの利用者と作業内容を表-1に示す。本システムを現場で使用するためには、各作業段階の利用者が表に記載の作業を行う必要がある。したがって、アンケート調査の対象は表に記載の実際に現場で本システムを使用した人とした。調査範囲は2つの現場で本システムの運用に関わった5社の生コン工場関係者（社外運転手、デリバリーを含む）と2つの現場のゼネコン職員（以下、ゼネコン）とした。

アンケート調査を行ったA工事所とB工事所の概略を表-2に示す。A工事所は土木工事であり、1日当たりの打込み量は多くはないものの3年近く本システムを使用した。B工事所は建築工事であり、本システムの使用期間は9カ月程度と短い、1日当たりの打込み量が

表-2 アンケート調査現場の概略

工事所	区分	適用工種	適用対象
A工事所	土木	橋梁下部工	橋梁下部工橋脚10基
B工事所	建築	RC造4階建て（一部でPC）	基礎および地上部

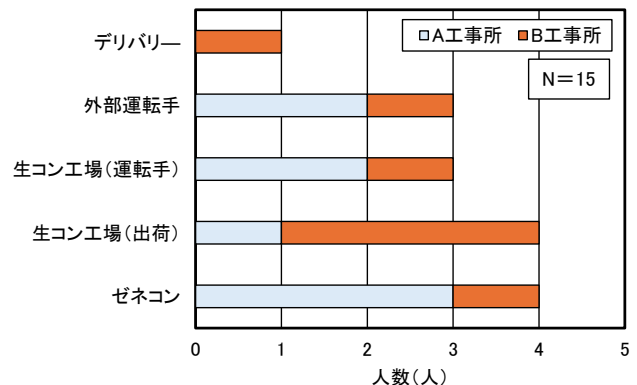


図-6 アンケート対象者の人数内訳

300~400m³と多い。アンケートは、両工事所ともに本システムの使い方に慣れた最終打込みに近い時期で実施した。

図-6にアンケート対象者の人数内訳を示す。A工事所はデリバリーの配置がなく、1社の生コン工場からの出荷であった。B工事所は複数の生コン工場からの出荷があり、3社の生コン工場にアンケート調査を行った。

図-2で記載の荷卸し開始・終了の登録作業は、A工事所では生コン工場の運転手であり、B工事所では主にデリバリーが行っていた。ゼネコンについてはA工事所では3人、B工事所では1人が本システムを使用していた。

4. アンケートの結果

アンケート結果は、本システムの使用を通じて利益を受けるゼネコンと、本システムの運用に協力する生コン工場関係者の回答を分けて分析を行った。

4.1 ゼネコン職員のアンケート結果

図-7 にゼネコンを対象に本システムの運用状況についてアンケートを行った結果を示す。設問は、図中縦軸の上から順に「結果として問題なく本システムで打込み・運行計画を作成できましたか?」、「結果として問題なく本システムで打込み管理ができましたか?」、「結果として問題なく本システムで報告書を作成できましたか?」、「本システムを用いて発注者や協力業者等に説明し、情報共有や調整等の業務を行いましたか?」であり、各作業の活用状況について調査した。図から打込み・運行計画作業、打込み管理作業、報告書作成作業は問題なく運用されている。情報共有・調整作業に関しては、A 工事所では 3 人中 2 人が使用しており、クラウドサービスを活用した本システムの特徴が活用されている。一方で、B 工事所では本システムを現場内での情報共有や調整で使用していないことが明らかとなった。A 工事所では打込みを担当する 3 人間で情報共有をする必要があり、本システムを介して情報共有することに慣れていたのに対し、B 工事所では打込みを 1 人が担当しており、システムを用いた情報共有の機会が少ないことが原因の 1 つと考えられる。

図-8 に本システムを使用した場合の業務削減量についてアンケートを行った結果を示す。アンケートの設問は、図中に記載の内容であり、業務削減量を-50～50%の範囲内で 10%単位で選択してもらった。図から本システムの使用により、10～30%の業務削減効果が認められた。

一般的に業務をデジタル化してシステムで管理しても業務量の効率化に結び付かない場合もある。コンクリートの打込み管理業務をデジタル化によるシステム管理を行うことで、平均 23%程度の業務量が削減できた。この業務削減効果がどの作業に基づくのかに関してもアンケートを行った。

図-9 に各作業の業務削減効果についてのアンケート結果を示す。両工事所において、報告書作成作業の業務削減量が多い。本システムは各作業で業務削減効果があり、特に報告書作成作業でその効果が大きくなった。A 工事所と B 工事所の業務削減量を比較すると報告書作成作業では、A 工事所が 47%、B 工事所が 80%となった。これは、現場ごとの状況や条件が異なることに起因すると推測される。例えば、1 日の打込み総量は A 工事所で 100m³ 程度、B 工事所で 300～400m³ 程度と異なるため、B 工事所の方が報告書作成作業の業務削減量が大

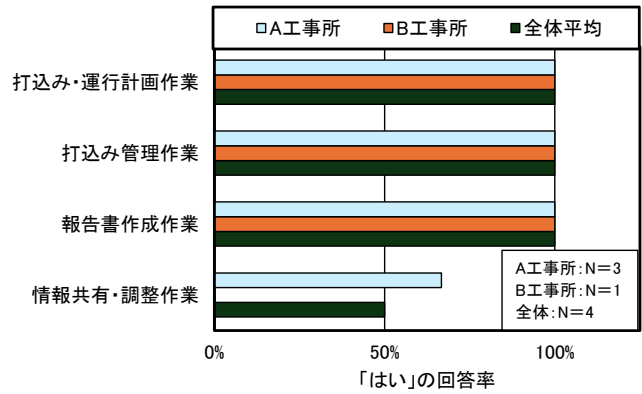


図-7 各作業の運用状況 (ゼネコン)

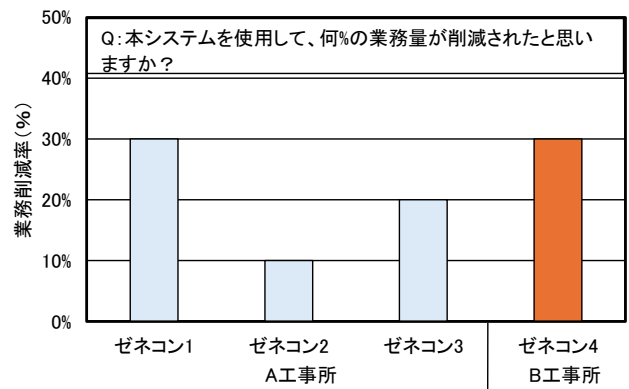


図-8 業務削減効果 (ゼネコン)

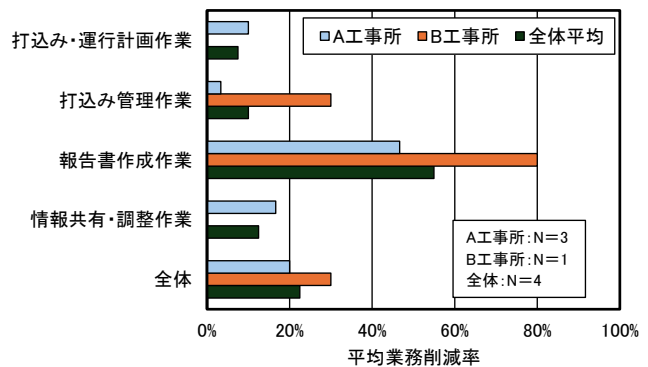


図-9 各作業の業務削減効果 (ゼネコン)

きくなったと考えられる。また、打込み管理作業に関しては、A 工事所は構造物の形状から、打重ね時間が長くなる場合が少なく、B 工事所は広い面積に多量のコンクリートを打込むため、打重ね時間の管理が重要となり、業務削減量が大きくなったと考えられる。

本システムの導入により高い業務削減効果を得るためには、報告書作成の機能を活用する必要があると、1 日の打込み数量が多い等で報告書作成業務に労力が必要な現場が導入に適していると考えられる。

業務削減効果は、現場ごとで異なると予測される。今回のアンケートは 2 件の現場という少ない母集団である。

引き続き本システムを導入した現場を対象にアンケート調査を行い、業務削減効果やその効果の高くなる条件について確認を行いたい。

本システムの有用性を評価するうえで、利用者の心証を知るためのアンケートを行った。図-10 にゼネコンへのシステムの再度利用に関する設問と回答結果を示す。回答者は 4 人であり、ゼネコン 1～4 の名称で結果を説明する。最も多い回答は「状況・条件による」という中立的なものであり、回答者は A 工事所のゼネコン 1、2、3 であった。B 工事所のゼネコン 4 は、「使用する・勧める」という肯定的な意見であり、「使用しない・勧めない」という否定的な意見はなかった。A 工事所のゼネコン 1、2 のアンケートの自由記載欄には、「コンクリートの打込み数量が多い場合は使用したい」という記載があり、ゼネコン 3 は「システム導入費用とシステム使用頻度による」との記載があった。本システムの導入の要否判断には、費用の他に現場の状況・条件を検討する必要があると考えられる。

本システムはコンクリート標準示方書等の各基準に準拠して作成しており、使用することで基準を満たした計画や施工ができる。社会課題として担い手不足の解消や技術力の継承が挙げられている現状を考慮すると、業務効率化だけで本システムを評価するのではなく、本システムを使用することで経験の少ない技術者でも適切な打込み計画や管理ができることを評価基準に加えることも検討したい。

4.2 生コン工場のアンケート結果

本システムを生コン工場関係者が問題なく運用できたかについてアンケートを行った。図-11 に生コン工場への各作業の運用状況のアンケート結果を示す。設問は「結果として本システムの出荷（伝票撮影）作業は、問題なくできましたか？」および「結果として本システムの荷卸し開始・終了登録作業は、問題なくできましたか？」である。

出荷担当の行う出荷（伝票撮影）作業は、4 人中 3 人が「はい」と回答し、A 工事所の生コン工場が「いいえ」と回答した。この理由に関しては、図-13 の考察で後述する。

アジテータ車運転手（デリバリー・社外運転手を含む）による荷卸しの開始・終了登録作業では、全員が「はい」と回答した。アジテータ車の運転手は、属性情報として生コン工場の運転手と社外運転手で区別して集計を行った。理由として、社外運転手は外部から来るために荷卸し登録作業依頼の連絡が上手くいかず、トラブルが発生する可能性があると考えたためである。社外運転手のアンケート回答は、A 工事所で 2 回答、B 工事所で 1 回答があった。結果として、運転手の 100% が問題なく荷卸し開始・終了の情報登録ができ、生コン工場所属の運転手と社外運転手の回答に差異はなかった。

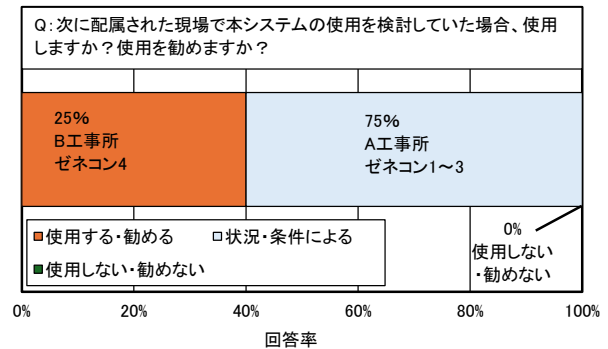


図-10 システムの再度の利用（ゼネコン）

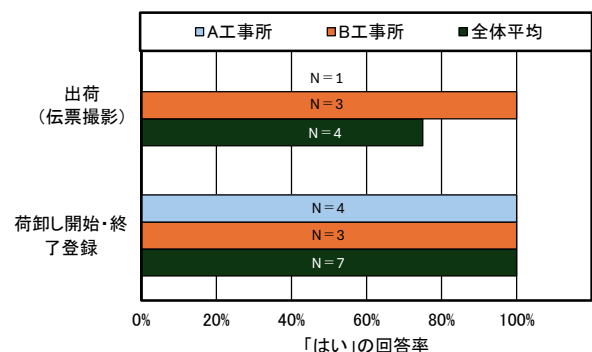


図-11 各作業の運用状況（生コン工場）

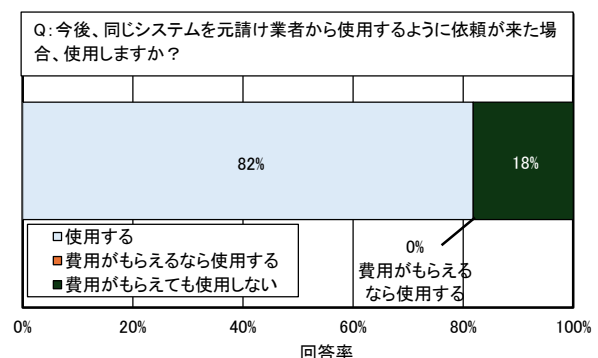


図-12 システムの再度の利用（生コン工場）

図-12 に生コン工場関係者にシステムの再度の利用についてアンケートを行った結果を示す。「使用する」と肯定的な回答が 82%（9 人）であり、「費用がもらえるなら使用する」とした回答者はなく、否定的な「費用がもらえても使用しない」が 18%（2 人）となった。

「使用する」と回答したのは、デリバリー、社外運転手、生コン工場（運転手）、生コン工場（出荷）であり、「費用がもらえても使用しない」と否定的な回答をしたのは、生コン工場（出荷）だった。この否定的な生コン工場（出荷）の回答は、A 工事所と B 工事所で 1 件ずつ確認された。否定的な回答の自由記載欄には、「同時に複数現場に出荷する際に、伝票の写真撮影を忘れてしまう」や「社外電話対応、アジテータ車との無線通信、材料の入荷対応、生コン工場内の作業指示等で忙しく、本

システム対応を忘れてしまう」との記載があった。

生コン工場（出荷）の人が担当する業務範囲は、生コン工場で様々だが、否定的な意見を答えた 2 人は共に生コン工場の工場長である。工場長として出荷作業の他に様々な業務を行う中で出荷伝票の撮影作業をするのは、手間がかかり、出荷伝票の撮影忘れを発生させてしまうと理解できる。また、複数現場に生コンを出荷する場合、一方の伝票は撮影し、もう一方の伝票は撮影しないといった複数の対応ケースがあることが、混乱を招くものと理解できる。

本システムはゼネコンのコンクリート打込み管理業務の効率化を目的に開発された。しかし、本システムの運用に関しては生コン工場の出荷担当に作業負荷が発生し、運用の支障になっていると考えられる。

4. 本システムの改善提案

本システムは、ゼネコンの生産性向上を目的に開発したものである。アンケート結果より、本システムの今後の課題は生コン工場（出荷）の作業負荷を軽減することや、生コン工場側にも利点があるシステムに改修することと考えられる。また、これらの課題を解決することで本システムの普及展開に結び付くと考えられる。

生コン工場（出荷）の作業負荷の軽減については、現在、国土交通省や日本建設業連合会等が生コン情報の電子化³⁾について取り組んでいる。生コン情報が電子化されクラウド上で確認できるようになれば、生コン工場（出荷）が出荷伝票を撮影する必要が無くなり、生コン工場（出荷）の作業負荷が軽減される。本取組みの今後の動向を確認し、本システムの改修を行う必要がある。

生コン工場側にも利点があるシステムにすることは、生コン工場側にも情報の提供を行い、利点がある形に改修することが可能である。

図-13 にデータの活用例を示す。本システム内にある情報を活用することで、図のようにアジテータ車の運行状況を直感的に表示し、生コン工場に提供することも可能である。図は現在のアジテータ車の状況を示したものであり、図中の時間を確認することで運搬時間や練混ぜから打込み終了までの時間が確認できる。また、各アジテータ車の状況を把握することで、アジテータ車が生コン工場に戻る時間も把握することも可能となる。本情報により、生コン工場とアジテータ車間の無線連絡の回数を削減できる。また、運行状況の適切な把握により、現場では適切な時間に荷卸しが可能になると考えられる。その他にも Web カメラの映像を提供することで打込み状況やアジテータ車の状況を情報共有することも可能である。

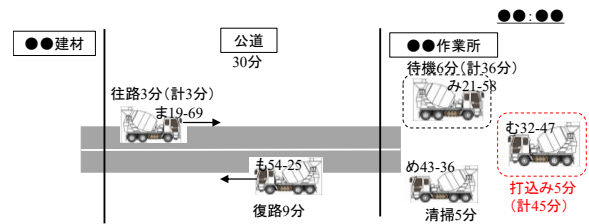


図-13 データ活用例 運行状況の把握

5. おわりに

開発したシステムを評価してもらうために 2 件の現場で実際に本システムを使用した人にアンケート調査（無記名方式）を実施し、以下の結果が得られた。

- i. 本システムを導入することでゼネコンの管理業務に平均 23%（10～30%）の業務削減効果が認められた
- ii. 本システムの業務削減効果の中で報告書作成作業の削減量が最も大きい
- iii. 本システムの運用に関しては生コン工場の出荷担当に作業負荷が発生し、運用の支障になっている場合がある
- iv. 本システムを再度の利用をしたいかとの問いに対し、ゼネコン職員においては否定的な意見はなかったが、生コン工場関係者においては大半が肯定的であるものの、手間が増えることに対して否定的な意見も見られた
- v. 本システムは生コン情報の電子化³⁾に対応し、出荷データの登録作業をなくすことや生コン工場側にもデータ提供を行い、メリットがある形に改修することで普及展開が可能と考えられる

謝辞

アンケート調査にご協力いただいた皆様に感謝いたします。また、本報告の作成に関して、応用技術（株）の中尾氏にご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省・厚生労働省、建設業の人材確保・育成に向けた取組をすすめていきます～国土交通省・厚生労働省の令和 8 年度概算要求の概要～、報道発表資料、2025.9
- 2) 廣中哲也、齋藤隆弘、今泉克彦、コンクリート打設統合管理システムの開発と現場適用、奥村組技術研究年報 No.49、pp.29-34、2023.9
- 3) 国土交通省、第 14 回コンクリート生産性向上検討協議会資料「生コン情報の電子化」に向けた試行の実施 経過報告（案）、2025.2

<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001867442.pdf>

（閲覧日：2026/1/13）

環境配慮型吹付けコンクリートの開発

ーフライアッシュと早強ポルトランドセメント併用配合の 品質・施工性評価ー

Development of Low-Carbon Sprayed Concrete - Evaluating the Quality and Constructability of Concrete Mixtures Incorporating Fly Ash and High-Early-Strength Portland Cement -

御器谷直子* 齋藤隆弘* Biswas Rajib Kumar* 廣中哲也**

要 旨

建設分野ではカーボンニュートラル実現に向け、コンクリートの低炭素化に向けた取り組みが進められている。著者らは、セメントの一部を産業副産物であるフライアッシュで置換し、早強ポルトランドセメントと併用することで、環境負荷の低減、初期強度および施工性の確保を両立した「環境配慮型吹付けコンクリート」の開発に取り組んでいる。一般にフライアッシュによる置換は初期強度の低下を招き、特に冬季の低温環境下ではその影響が顕著となる。そこで、本研究では早強ポルトランドセメントの速やかな水和反応を活用し、初期強度の向上を図った。また通年施工を想定し、夏季および冬季で実機吹付け試験を実施した。その結果、冬季ではトンネル支保工として必要な初期強度を確保し、夏季では懸念されるポンプ圧送性を確保した。さらに、はね返し率を低減するとともに、CO₂排出量を削減できることを確認した。

キーワード：山岳トンネル、高強度吹付けコンクリート、フライアッシュ、低炭素

1. まえがき

建設分野ではカーボンニュートラルの実現に向けて、コンクリートの低炭素化が重要な課題である。コンクリートの材料であるセメントの製造時には多量のCO₂が排出される。また、山岳トンネルの施工においては大量のコンクリートが使用される。2000 年前後にセメントの一部代替材料としてフライアッシュを利用した吹付けコンクリート（EP ショット工法）^{1) 2)}が開発された。当時、本工法は、主として産業副産物の有効利用を目的としていたが、近年ではセメント使用量の低減による CO₂ 排出量削減に資する技術として再評価されている。

一方、吹付けコンクリートの使用材料および施工条件も変化している。セメントの水和を促進する急結剤に含まれる薬剤が劇物指定され、従来技術の見直しが必要になった。さらに、ずい道等建設工事における粉じん規制は、段階的に強化されている。これらの状況を踏まえ、低粉じん化および作業環境改善の観点から、アルカリフリーの液体急結剤の適用が進んでおり、材料体系および施工条件の両面から従来技術の再検証が必要となっている。

また、トンネル支保工である吹付けコンクリートには掘削後の地山を早期に支保するため、速やかな強度発現が求められる。一方でセメントの一部をフライアッシュで置換することで初期強度の発現性の低下が懸念される。特にフライアッシュの反応性が低下する低温環境下ではその影響が顕著となる。

そこで本研究では、フライアッシュを活用した低炭素化とトンネル支保工として必要な初期強度の確保を両立させることを目的として、早強ポルトランドセメントを併用した「環境配慮型吹付けコンクリート」を考案した。また、当該配合の通年施工性を確認するため、夏季および冬季に実機吹付け試験を実施し、フレッシュ性状、初期強度、圧縮強度、はね返し率を評価した。さらに、CO₂ 排出量についても整理し、本配合の適用可能性を検討した。

2. フライアッシュと早強ポルトランドセメントの併用効果

2.1 セメントの水和反応に及ぼす効果

フライアッシュは、シリカ（SiO₂）とアルミナ

* 技術本部技術研究所土木研究グループ ** 技術本部技術研究所

(Al_2O_3) を主成分とする混和材であり、セメントの水和反応によって生成した水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) と反応して、カルシウムシリケート水和物 (C-S-H) を生成する。これはポゾラン反応と呼ばれ、反応速度が緩やかなため、長期的に硬化体組織の緻密化が図られ、強度が増進する。一方、セメントの一部をフライアッシュで置換した場合、セメントの反応量が少ないこと、およびフライアッシュの反応速度が緩やかであることから、初期強度が低下しやすい。特に、低温環境下では、セメントおよびフライアッシュの反応性が低下するため、その影響が顕著となる。これに対し、初期強度の発現に寄与するケイ酸三カルシウム (C_3S) の含有量が多い早強ポルトランドセメントを併用することで、 C_3S による水合反応が速やかに進行し、C-S-H や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成が促進されるため、初期強度を補完できる可能性がある。

2.2 フライアッシュの物理的効果

吹付けコンクリートに着目すると、フライアッシュはセメントと比較して密度が小さく、単位容積あたりの粉体量およびペースト量を増加させるため、粘性が増加する。粘性の増加は、吹付け時の付着性を高め、はね返り率の低減に有効であると考えられる。

3. 実機吹付け試験概要

3.1 試験条件

環境配慮型吹付けコンクリートの通年における施工性および強度特性を確認するため、夏季および冬季で実機吹付け試験を実施した。試験ケースは、試験温度、フライアッシュの置換率およびセメントの種類をパラメータとして設定した。試験温度は、夏季 (約 30°C) および冬季 (約 10°C) の2条件とした。

3.2 使用材料および配合

本試験で使用した材料を表-1に示す。結合材には、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントおよびフライアッシュを使用した。細骨材は、夏季試験では糸魚川産姫川水系砂 (S1) を使用した。冬季試験では夏季試験で使用した細骨材を確保することが困難であったため、妙高市濁川水系砂 (S2) に変更した。なお、冬季試験では、細骨材の変更に伴いコンクリートのフレッシュ性状を調整するため、夏季試験とは異なる高性能減水剤を使用した。急結剤には、近年の作業環境改善の動向を踏まえ、粉体助剤 (AF2) 併用型のアルカリ

フリーの酸性液体急結剤 (AF1) を用いた。

各フライアッシュの密度、比表面積、化学成分、強熱減量等の物性を表-2に示す。フライアッシュには、同じ発電所産のコンクリート用フライアッシュ JIS II 種相当品 (FA1、FA2) を使用した。

示方配合を表-3に示す。示方配合は、高強度吹付けコンクリートの標準的な配合を参考に、水結合材比 42%、単位結合材量 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 、液体急結剤添加率 7%および粉体助剤添加率 5%の一定とし、スランプの目標値は、フライアッシュによる粘性の増加を考慮して $22\pm 2\text{cm}$ とした。目標スランプを満足するように、夏季試験および冬季試験の使用細骨材の違いに応じて細骨材率ならびに高性能減水剤の種類および添加率を調整した。フライアッシュ置換率およびセメントの種類は、室内試験における急結剤添加前のコンクリート (以下、ベースコンクリート) の圧縮強度試験結果に基づいて決定した。

表-1 使用材料

材料	種類	記号	品質
セメント	普通ポルトランドセメント	N	密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3320\text{cm}^2/\text{g}$
	早強ポルトランドセメント	H	密度 $3.14\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $4510\text{cm}^2/\text{g}$
フライアッシュ	JIS 灰 II 種	FA1	密度 $2.28\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3540\text{cm}^2/\text{g}$
		FA2	密度 $2.23\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3950\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	糸魚川産姫川水系砂	S1	表乾密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率 2.75 吸水率 1.97%
	妙高市濁川水系砂	S2	表乾密度 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率 2.89 吸水率 2.51%
粗骨材	糸魚川産 6号碎石	G	表乾密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率 5.95 吸水率 1.46%
混和剤	高性能減水剤	Ad1	ポリエチレングリコール系高分子化合物、密度 $1.04\text{g}/\text{cm}^3$
		Ad2	ポリエチレングリコール系高分子化合物 (保持系)、密度 $1.04\text{g}/\text{cm}^3$
急結剤	酸性液体急結剤	AF1	水溶性アルミニウム塩系 密度 $1.31\text{g}/\text{cm}^3$
	粉体助剤	AF2	カルシウムサルフォアルミネート系、密度 $2.94\text{g}/\text{cm}^3$

表-2 フライアッシュの物性

種類	密度 (g/cm^3)	SiO_2 (%)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	比表面積 (cm^2/g)	フロー 値比 (%)	活性度指数 (%)	
							28 日	91 日
JIS II 種規格値*)	1.95 以上	45.0 以上	1.0 以下	5.0 以下	2500 以上	95 以上	80 以上	90 以上
FA1	2.28	66.6	0.1 未満	2.7	3540	109	93	104
FA2	2.23	60.0	0.1	2.5	3950	108	85	99

*) コンクリート用フライアッシュ JIS A 6201

表-3 示方配合

配合名		スランプ (cm)	水結合 材比 (%)	FA 置換率 (%)	空気量 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m³)										急結剤 (kg/m³)	
							W	N	H	FA1	FA2	S1	S2	G	Ad1	Ad2	AF1	AF2
夏季 試験	N100FA0S	22±2	42	0	0	60	189	450	-	-	-	1047	-	711	5.9	-	31.5	22.5
	N80FA20S			20			189	360	-	90	-	1030	-	700	4.5	-	31.5	22.5
	H70FA30S			30			189	-	315	135	-	1020	-	693	5.9	-	31.5	22.5
冬季 試験	N100FA0W			0	3.0	55	189	450	-	-	-	-	902	766	-	7.65	31.5	22.5
	N80FA20W			20			189	360	-	-	90	-	887	750	-	7.65	31.5	22.5
	H70FA30W			30			189	-	315	-	135	-	876	742	-	7.65	31.5	22.5

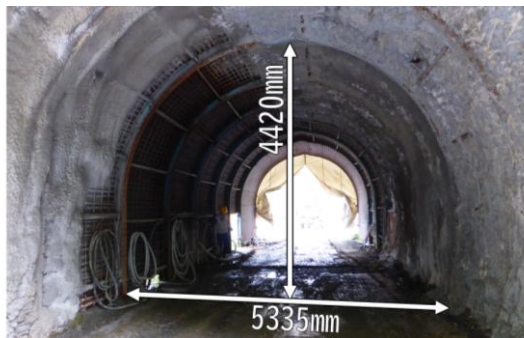
3.3 実機吹付け試験概要

吹付け試験は、所定の試験条件下で実機吹付け設備を用いて実施した。写真－１に模擬トンネル（高さ 4.4m、内空幅 5.3m）の坑内状況を、図－１に吹付け設備を示す。ベースコンクリートはレディーミクストコンクリート工場で製造し、アジテータ車で試験場所に運搬した。到着後、フレッシュ性状試験を実施し、圧縮強度試験用の供試体采取了。ベースコンクリートは吐出量 10m³/h で距離 15m をポンプ圧送し、吹付け機先端のノズル手前において圧縮空気により液体急結剤および粉体助剤を添加した後、トンネルの半断面に吹き付けた。

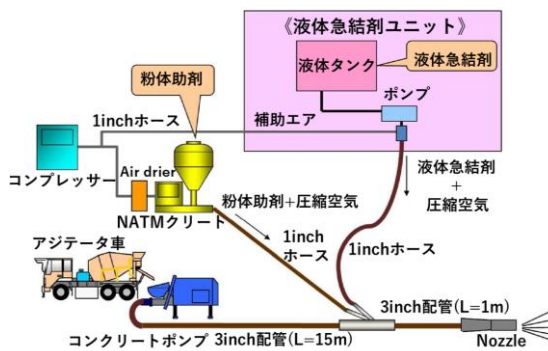
3.4 試験項目および試験方法

表－４に試験項目および試験方法を示す。本試験の試験項目および試験材齢は、高速道路会社の施工管理基準における高強度吹付けコンクリートの品質管理項目および強度規定値を参考³⁾に設定した。同基準では、高強度吹付けコンクリートの強度として、材齢 3 時間で 2N/mm² 以上、材齢 24 時間で 10N/mm² 以上、材齢 28 日で 36N/mm² 以上と規定されている。本試験では、吹付け前のベースコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に加え、吹付け後の初期強度、圧縮強度およびはね返り率を試験項目とし、規定値との比較を行った。また、材齢 7 日および 91 日の圧縮強度を測定し、強度発現性および長期強度の確認を行った。

フレッシュ性状試験としては、スランプ、空気量およびコンクリート温度を測定した。



写真－１ 模擬トンネルの坑内



図－１ 吹付け設備

初期強度試験では、吹付けコンクリートを幅 50cm、長さ 50cm、高さ 30cm のコア用型枠に吹き付け、測定材齢（3 時間、24 時間）まで現場養生した後、空気圧式ピン貫入試験を実施し、推定圧縮強度を算出した。材齢 7 日以降の圧縮強度試験では、ベースコンクリートは直径 10cm、高さ 20cm の円柱型枠に打ち込み、吹付けコンクリートはコア用型枠に吹付けた。吹付けコンクリートについては、コア採取が可能となる強度を確保するため、材齢 5 日まで現場養生した後にコアを採取した。ベースコンクリートについても、吹付けコンクリートと同一の温度履歴となるよう、材齢 5 日まで現場養生した。その後、ベースコンクリートおよび吹付けコンクリートは、夏季試験では測定材齢まで標準養生（20℃水中）とし、冬季試験では測定材齢まで現場封緘養生を継続した。なお、ベースコンクリートおよび吹付けコンクリートの圧縮強度試験は材齢 7 日、28 日、91 日で実施した。

表－４ 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ性状試験	スランプ試験	・ JIS A 1101 「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠 ・ 目標値：22±2cm
	空気量試験	・ JIS A 1128 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に準拠
	温度	・ JIS A 1156 「コンクリートの温度測定方法」に準拠
強度試験	初期強度	・ NEXCO 試験法 726 「空気圧式ピン貫入試験」に準拠 ・ 測定材齢：3 時間、24 時間 ・ 養生条件：現場養生 ・ 規定値：3 時間 2N/mm² 以上、24 時間 10N/mm² 以上
	ベースコンクリートの圧縮強度	・ JIS A 1132 「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠 ・ JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠 ・ 供試体寸法：Φ100mm×h200mm ・ 測定材齢：7、28、91 日 ・ 養生条件：円柱供試体を作製し、コア強度試験用供試体と同一条件で養生。夏季は 5 日間現場養生後に標準養生。冬季は 5 日間現場養生後も現場養生（材齢 28 日までの平均温度 6℃）。
	吹付けコンクリートの圧縮強度	・ JSCE-F 561 「吹付けコンクリート（モルタル）の圧縮強度試験用供試体の作り方（案）」に準拠し、パネル型枠に吹き付けて作製 ・ JIS A 1107 「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠 ・ コア寸法：Φ50mm×h100mm ・ 測定材齢：7、28、91 日 ・ 養生条件：夏季は吹付け後、5 日間現場養生、その後コアリングし、標準養生（20℃水中）。冬季は吹付け後、5 日間現場養生。その後コアリングし、現場養生（材齢 28 日までの平均温度 6℃）。 ・ 規定値：28 日 36N/mm² 以上
コンクリートの温度履歴測定		・ 吹付けたコンクリートおよびベースコンクリートの温度を測定
はね返り率試験		・ 土木学会基準 JSCE-F563 「吹付けコンクリート（モルタル）のはね返り率試験方法『実構造物による吹付け』」に準拠

冬季試験ではコンクリートの温度履歴の測定を実施した。ベースコンクリートおよび吹付けコンクリートの温度履歴は、幅 50cm、長さ 50cm、高さ 30cm のコア用型枠の中心部に熱電対を設置して計測した。養生は、初期強度試験の試験体と同条件で行った。

はね返り率試験では、トンネルの床に 1 辺 5m 程度のシートを敷き、トンネル半断面に幅 2m で吹き付けた。吹付け終了後、シート上にはね返った材料を集めて質量を測定し、その質量を吹付けに用いたコンクリートの総質量で除して百分率で表し、はね返り率を算出した。

4. 試験結果

4.1 フレッシュ性状試験

ベースコンクリートのフレッシュ性状試験の結果を表 5 に示す。いずれの配合もスランプ 22±2cm の範囲に収まっていることを確認した。コンクリート温度は、夏季 30～33℃、冬季 11～13℃、外気温は、夏季 28～33℃、冬季 8～16℃であり、それぞれの季節条件を反映して実施できた。高性能減水剤を適切に調整することで、フライアッシュの置換率やセメントの種類によらず、安定したフレッシュ性状を確保できた。また、圧送時に顕著な脈動や閉塞が見られなかったことから、通年で安定した圧送性を有することを確認した。

4.2 強度試験

a. 初期強度試験

図 2 に夏季および冬季における吹付けコンクリートの初期強度試験結果を示す。冬季の材齢 3 時間から材齢 24 時間において、普通ポルトランドセメントをフライアッシュで 20%置換した N80FA20W は、他の配合と比較してやや強度が低下した。これは、フライアッシュ置換に伴うセメント量の減少により初期の水和反応が低下するとともに、低温環境と材齢初期においてフライアッシュの反応が十分に進行しないためと考えられる。一方で、フライアッシュ置換率 30%の H70FA30W は冬季においても置換なしの N100FA0W と同等の強度を発現した。早強ポルトランドセメントと急結剤により、フライアッシュ置換と低温による反応速度の低下を効果的に補完したと考えられる。これらの結果から、すべての配合で高強度吹付けコンクリートの初期強度の規定値を満たし、掘削直後の地山の安定に必要な支保としての性能を有することを確認した。

b. 圧縮強度

図 3 に夏季および冬季における吹付けコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。いずれの配合も冬季に比べて、夏季の方が圧縮強度が大きいことから、温度依存性があり、フライアッシュの置換率が高い配合ほどその影響が顕著であった。夏季環境下では、すべての配合において、高強度吹付けコンクリートの材齢 28 日圧縮強度

の規定値 36 N/mm²を満足した。一方、冬季環境下における H70FA30W では、低温によるフライアッシュの反応性低下の影響により、材齢 28 日圧縮強度は 32.3 N/mm²となり、規定値をわずかに下回った。しかしながら、材齢 91 日では、材齢 28 日から 91 日までの強度増加率が約 1.2 倍となり、39.6N/mm²の圧縮強度が得られたことから、長期的な強度発現が確認された。これは、

表 5 ベースコンクリートのフレッシュ性状試験結果

	配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
夏季試験	N100FA0S	23.5	5.9	31	30
	N80FA20S	22.5	2.9	33	33
	H70FA30S	24.0	1.6	30	28
冬季試験	N100FA0W	23.0	1.2	12	13
	N80FA20W	21.0	1.0	13	16
	H70FA30W	20.0	1.3	11	8

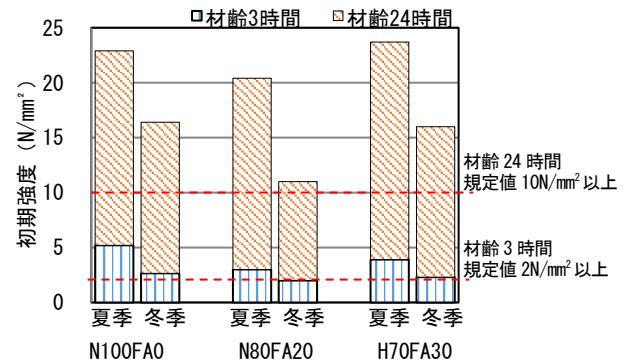


図 2 夏季および冬季の初期強度試験結果

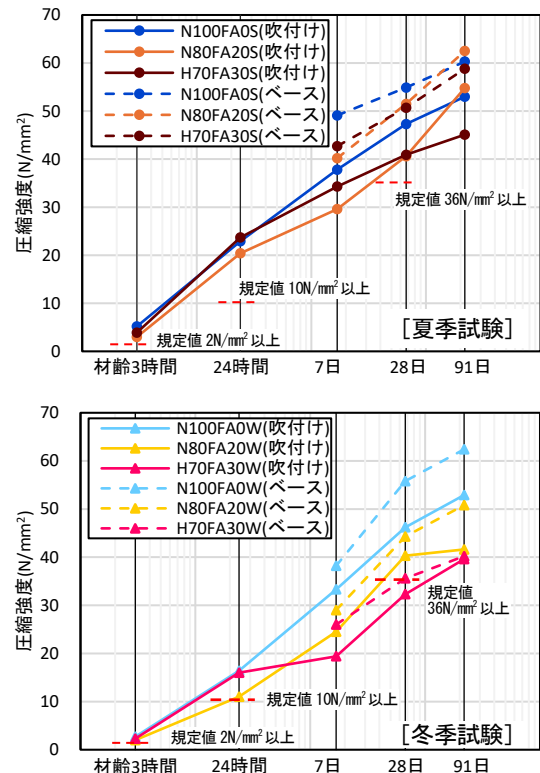


図 3 夏季および冬季の強度試験結果

フライアッシュのボゾラン反応が継続することにより、低温環境下においても長期的に組織の緻密化が進行したためと考えられる。また、冬季環境下において高強度吹付けコンクリートの材齢 28 日圧縮強度の規定値を満足するためには、ベースコンクリートの水結合材比の低減、単位セメント量の増加および単位水量の低減等により強度発現性を向上させた冬季配合の採用が有効であると考えられる。

4.3 冬季の温度履歴と積算温度による初期強度評価

写真-2 に冬季におけるコンクリートの温度履歴の測定状況を、図-4 に吹付けコンクリートの温度履歴を示す。いずれの配合でも急結剤の添加により、吹付け直後から 10℃ 程度の急激な温度上昇が確認された。普通ポルトランドセメントを使用した N80FA20W の吹付けコンクリートは、ピーク温度に到達後、温度を保持することなく低下した。一方、早強ポルトランドセメントを使用した H70FA30W は、試験時の気温の影響により、普通ポルトランドセメントを使用した N100FA0W および N80FA20W より吹付け前のコンクリート温度が約 2℃ 低かった。吹付け後は他の配合に比べて高温状態を長時間維持した。これは、早強ポルトランドセメントの速やかな水和反応と急結剤の併用によって発熱が維持されたためと推察される。

図-5 に圧縮強度と積算温度の関係を示す。コンクリートの積算温度は式(1)⁴⁾により算出した。任意の定数 α は、コンクリートの吹付け前のコンクリート温度より -11 とした。

$$M = \Sigma (\theta + \alpha) \cdot t \quad \text{式(1)}$$

ここに、M：積算温度 (°C・h)、t：時間 (h)、

θ ：コンクリート温度 (°C)、 α ：任意の定数 (-11)

積算温度と圧縮強度の関係から、圧縮強度を推定する回帰式を式(2)に示す。

$$\sigma(t) = 0.1281M - 2.086 \quad \text{式(2)}$$

ここに、 $\sigma(t)$ ：時間 t での圧縮強度 (N/mm²)

本式における決定係数 R^2 は 0.99 であり、良好な相関関係が得られた。吹付けコンクリートにおいても、積算温度を用いることで、配合条件が異なる場合であっても、強度発現を定量的かつ高精度に評価できることを確認した。したがって、積算温度による評価は低温環境下における初期強度管理の指標として有効であると考えられる。

4.4 はね返り率試験

はね返り率試験の実施状況を写真-3、各配合のはね返り率試験結果を図-6に示す。粉体急結剤を用いた一般的な吹付けコンクリートのはね返り率は 20～30%⁵⁾ である。一方、セメントのみの配合 (N100FA0S、N100FA0W) のはね返り率は 14.4～15.3% となり、液体急結剤を使用することで、はね返りが低減したといえる。フライアッシュの置換率が大きいほど、はね返り率は小さくなり、夏季の H70FA30S で 10.8%、冬季の



写真-2 温度履歴の測定状況

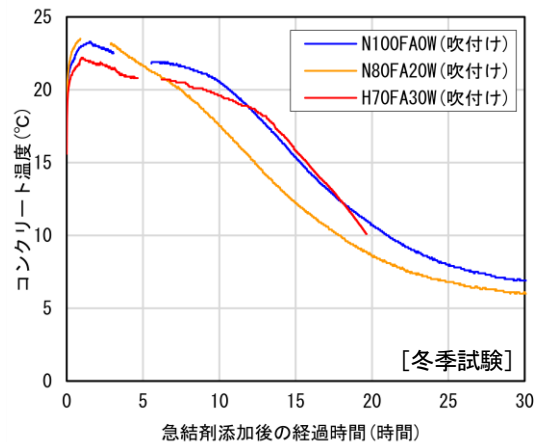


図-4 冬季の吹付けコンクリートの温度履歴

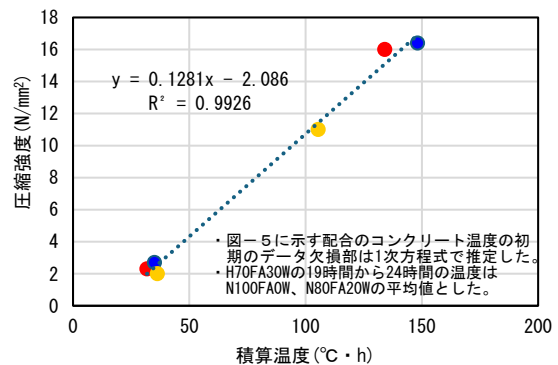


図-5 圧縮強度と積算温度の関係



写真-3 はね返り試験状況

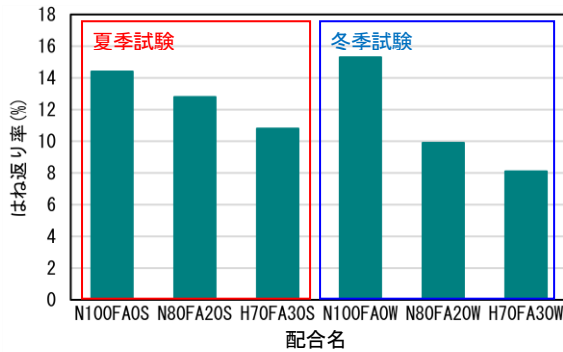


図-6 はね返り率試験結果

H70FA30W で 8.1%まで低減した。これは、フライアッシュの使用により単位体積あたりの粉体量およびペースト量が増加し、吹付け時の付着性が向上したためと考えられる。

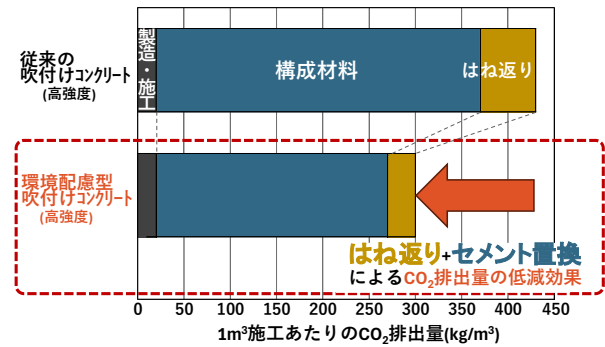
5. CO₂ 排出量削減効果

はね返りによる材料ロスを考慮したコンクリート 1m³あたりの CO₂ 排出量を図-7 に示す。H70FA30S 配合について、各種材料のインベントリデータ⁹⁾と消費燃料をもとに、CO₂ 排出量を算出した。セメントのみの配合 (N100FA0S) と比較して、フライアッシュ 30%置換配合 (H70FA30S) では、吹付け前の 1m³ あたりで CO₂ 排出量を約 100kg/m³削減できた。さらに出来形として 1m³を確保するために必要な吹付け量は、N100FA0S では 1.2m³、H70FA30S では 1.1m³の吹付けが必要であることから、出来形 1m³あたりの CO₂排出量で比較すると、約 130kg/m³の削減となった。

6. まとめ

本研究では、セメントの一部をフライアッシュで置換し早強ポルトランドセメントを併用した環境配慮型吹付けコンクリートを用いて、模擬トンネルでの実機吹付け試験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- i. 低温環境下では、セメントに早強ポルトランドセメントを使用することで初期強度の不足を補完でき、冬季においてもトンネル支保工として必要な初期強度を確保できた
- ii. 圧縮強度試験の結果、フライアッシュの置換率を高めた配合においても材齢の経過に伴う長期的な強度増進が確認された
- iii. 吹付けコンクリートの温度履歴から、早強ポルトランドセメントと急結剤の併用により発熱が促進・維持されることを確認し、積算温度と初期強度の間には高い相関が認められた
- iv. はね返り率については、フライアッシュの置換率

図-7 コンクリート 1m³あたりの CO₂ 排出量

が増加するに伴い低減する傾向が認められ、早強ポルトランドセメント使用のフライアッシュ置換率 30%配合 (H70FA30) では夏季 10%、冬季 8%程度まで低減できた

- v. CO₂ 排出量の試算結果より、本配合はセメント使用量の削減およびはね返り率低減の効果により、従来配合と比較して約 30%の CO₂ 排出量削減が可能であることを確認した

7. あとがき

本研究では、フライアッシュと早強ポルトランドセメントを併用した環境配慮型吹付けコンクリートは気温条件に左右されず安定した施工性と必要な強度性能を確保できるとともに、トンネル施工における環境負荷低減に有効であることを確認した。今後は、現場適用に向けて、施工条件に応じた施工性および品質管理方法について検討を進める予定である。最後に、本試験の実施にご協力いただいた関係各位に感謝する。

【参考文献】

- 1) 澄川 健、寺本丈夫、斉藤 直、樋野和俊、松田敦夫、「石炭灰原粉を用いたトンネル吹付けコンクリートの試験施工」、土木学会第 54 回年次学術講演会、V-488、1999.9
- 2) 西田啓二、松田敦夫、斉藤 直、安野孝生、村田和郎、井上直樹、西江寛次、清水顕誠、「3 種類の石炭灰原粉を用いた湿式吹付けコンクリートの特性」、土木学会第 57 回年次学術講演会、V-489、2002.9
- 3) 東日本、中日本、西日本高速道路会社、「トンネル施工管理要領」、2024
- 4) 土木学会、「2023 年制定コンクリート標準示方書 [施工編：施工基準]」、p.144、2023
- 5) 土木学会、「121 コンクリートライブラリー吹付けコンクリート指針 (案) [トンネル編]」、p.31、2005
- 6) 土木学会、「コンクリート技術シリーズ コンクリートの環境負荷評価 (その 2)」、p.39、2004

くり粉の画像解析によるトンネル切羽前方の地山評価

ー削孔エネルギーおよび切羽評価点と比較してー

Evaluation of Geological Conditions Ahead of the Tunnel Face Using Image Analysis of Drill Cuttings - Comparison with Drilling Energy and Tunnel Face Evaluation Scores -

塚本耕治* 山田昂平**

要 旨

山岳トンネルの工事では、切羽前方の地山性状を事前に把握することが安全性、施工性の面から重要である。その調査法の一つにドリルジャンボを用いた削孔検層法がある。これはドリルジャンボの油圧式削岩機が地山を削孔する際に計測した削孔速度および各種油圧などの削孔データを解析し、切羽前方の地山性状を探索する方法である。削孔検層法による地山性状の評価は、削孔データのほかに、削孔水とともに排出されるくり粉の目視観察や湧水量の測定結果から総合的に行われる。このうち、くり粉の評価では目視や指触による方法が主体であり、観察者の主観的な評価になりがちであった。そこで、削孔データから求めた削孔エネルギーの結果に加えて、削孔中に採取したくり粉の画像解析から求めた粒径や色に関する測定を行い、地山の定量的な評価を行った。さらに、これらの削孔検層による結果と日常の切羽の観察調査から得られる切羽評価点の結果を比較することにより、くり粉の画像解析による地山評価の有用性を確認した。

キーワード：削孔検層、くり粉、画像解析

1. まえがき

トンネル切羽から行う削孔検層法は、油圧式削岩機等を用いて切羽前方に 30m 程度の地山を削孔し、削孔速度および各種の油圧データ（以下、削孔データ）や削孔水とともに排出される削孔による岩片（以下、くり粉）の状況から削孔位置の地山性状を定量的に評価する調査法¹⁾である。この削孔検層法における削孔データの計測・解析には、一般的に削孔検層システムが用いられる。具体的には油圧式削岩機の打撃圧、回転圧およびフィード圧は圧力センサを用い、削孔長や削孔速度は油量センサを用いて計測する。計測した削孔データから地山の硬軟を評価するための重要な指標である、単位掘削体積あたりの削孔エネルギー（以下、削孔エネルギー）を求める。そのほか、くり粉の状態の目視観察や湧水量の測定などから切羽前方の地山状態の総合的な評価を行う。

著者らは、これまでに 2kHz～5kHz の高周波サンプリングにより、削孔エネルギーの値だけでなく削孔エネルギーが増減する変動幅や変動方向から地山の硬軟や亀裂の位置など地山状況をより詳細に把握できる削孔検層システム²⁾を開発し、30 件近い山岳トンネル現場に導入している。近年は、ドリルジャンボに取り付けた Web カメラおよび無線装置により、切羽や削孔時の計測状況

のモニタリング、計測データの回収などの計測管理を遠隔から行うことが可能な管理システム（以下、削孔検層遠隔モニタリングシステム）にしている。一方、削孔検層で採取されるくり粉の評価は岩石を直接的かつ簡便に把握できることから、切羽前方の地山状況を推定する上で重要である。採取したくり粉の色や鉱物の構成などを目視により観察し、岩種や風化・変質の影響を受けているかなどを判定する。ただし、この判定法は、豊富な知識と経験が必要とされ、個人差が生じやすい。このようなことから経験だけに頼らない客観的かつ定量的な評価法の確立が望まれている。

このため、削孔検層時に採取したくり粉をデジタルカメラにより撮影し、そのデジタル画像から、くり粉の色、面積、粒径を求めて分析を行い、知識と経験が少ない場合でも地山の性状を定量的に評価する方法を検討した³⁾。本稿では、最初に削孔検層に用いた削孔検層遠隔モニタリングシステムおよび日常の切羽観察から得られる切羽評価点の概要を示し、削孔検層時におけるくり粉の採取方法と画像解析の概要を示す。次に、奈良県内のトンネル現場において削孔検層時に採取したくり粉の画像解析結果を、削孔データから求めた削孔エネルギーの結果や現場で実施した切羽観察による切羽評価点と比較することにより、くり粉の画像解析の有用性について検証した。

*技術本部技術研究所土木研究グループ **西日本支社関西土木第3部

2. 削孔検層遠隔モニタリングシステムの概要

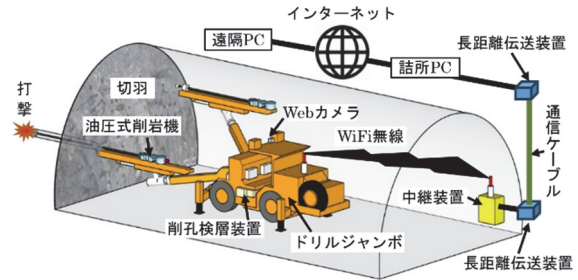
削孔検層遠隔モニタリングシステム（以下、本システム）の概要を図－1に示す。また、設置状況を写真－1に示す。本システムは、ドリルジャンボに搭載したWebカメラおよび削孔検層装置、坑内中継装置、長距離伝送装置、各所PC等から構成される。切羽の削孔状況や削孔データの計測状況、および削孔エネルギーから判定した地山等級の結果を遠隔から確認できること、さらに計測・保存した削孔データを遠隔から回収できることが特徴である。

本システムの主要な機器である削孔検層装置は、ドリルジャンボの各ブームに設置された削岩機に取り付けられた各種センサで、打撃圧、回転圧、フィード圧、削孔速度および削孔長などの削孔データを装置内の計測用PCにより2kHz～5kHzの高周波サンプリングで計測・保存する。削孔長5mm間隔ごとに削孔データや削孔エネルギーの平均値を求め、削孔長に対する変化を画面に表示する（写真－1(a)）。削孔後には、削孔1本あたりの平均削孔エネルギーを計算し、予め地山等級ごとに設定した削孔エネルギーの閾値に基づいて推定される地山等級を表示する（写真－1(b)）。装薬孔の削孔時や削孔検層時には、削孔の開始と終了、ロッドの継ぎ足しの状態を削孔データから自動判別し、計測から地山等級の評価までの処理を自動化している。

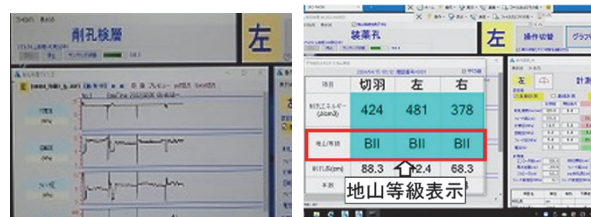
本システムを導入することにより、遠隔にいる専門技術者も削孔データおよび削孔状況から地山状況を確認することが可能になり、より精度の高い地山評価ができる。

3. 切羽評価点と評価項目

切羽評価点は、切羽で観察される地山性状を点数化し、支保パターンの選定や地山等級の見直しに使用するための評価指標である。対象としたトンネル⁴⁾では、「トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）⁵⁾」による切羽観察を1日1回実施し、切羽評価点を算出している。切羽評価点算出方法の概要を図－2に示す。切羽評価点の算出では、トンネル上半切羽を天端・右肩・左肩に3分割し（図－2(a)）、各部についてトンネル技術者が目視観察を行って「切羽の状態」、「風化変質」などの評価項目10項目（図－2(b)）に対して1～4点の評価区分の点数（1＝良好、4＝悪い）を付ける。図中の式（1）を用いて、評価項目ごとの評価区分の点数に岩質に応じた重み係数を掛け合わせ、これを合計して各部の評価点を算出する。さらに、各部の評価点から式（2）を用いて、切羽全体の評価点（切羽評価点）を求める（図－2(c)）。なお、この切羽評価点が高いほど地山状態は悪く、より上位の支保パターンに変更する傾向がある。



図－1 削孔検層遠隔モニタリングシステムの概要



(a) 削孔検層装置の画面

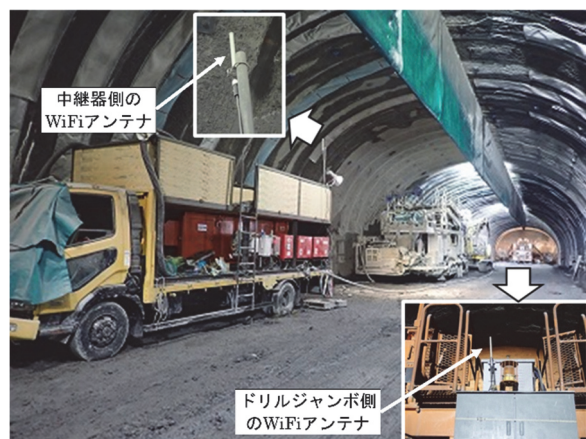
(b) 地山等級表示



(c) Webカメラの設置状況



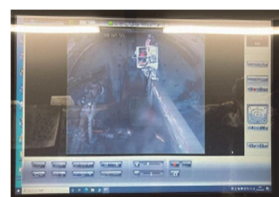
(d) 中継装置の設置状況



(e) WiFi無線アンテナの設置状況

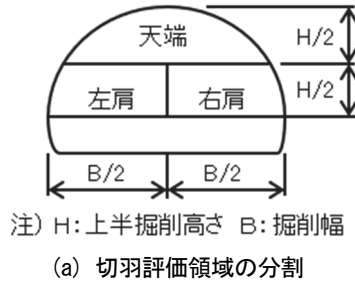


(f) 詰所PC



(g) 遠隔PC画面の表示例

写真－1 削孔検層遠隔モニタリングシステムの設置状況



n	評価項目	重み係数*
1	切羽の状態	9
2	素堀面の状態	36
3	圧縮強度	9
4	風化変質	5
5	割れ目の頻度	7
6	割れ目の状態	10
7	割れ目の形態	14
8	湧水	5
9	水による劣化	5
10	割れ目の方向性	—

*岩質が中硬質岩（層状）の重み係数値を示す

(b) 評価項目と重み係数

$$\text{各部の評価点} = \sum_{n=1}^{10} ([\text{評価区分}]_n \times [\text{重み係数}]_n) / 100 \quad \text{式(1)}$$

$$\text{切羽評価点} = (\text{右肩部評価点} + \text{左肩部評価点} + \text{天端部評価点} \times 2) / 4 \quad \text{式(2)}$$

(c) 切羽評価点の計算式

図-2 切羽評価点算出方法の概要

4. くり粉の採取と画像解析

4.1 くり粉の採取

削岩機の削孔水は、削孔時のビットの冷却、粉じんの発生低減、くり粉を孔内から排出するため、ビット先端へ送り込む水である。削孔水はロッド内を通りビット先端の水孔から噴射され、削岩したくり粉と一緒に孔口から排出される。削孔検層では、1本の長さが3.05mのロッド10本を継ぎ足しながら30m程度の削孔を行う。そのため、ロッド1本あたり1回の頻度で、くり粉を含む削孔水を柄杓やバケツで採取し、削孔水の中から300g程度のくり粉を採取して画像解析に用いた。

4.2 くり粉の画像解析

くり粉の画像解析には、図-3に示す手順を用いた。その概要を以下に示す。

①くり粉のふるい分け

削孔したくり粉には多くの微粒子が含まれ、すべてのくり粉について画像解析を行うことは難しい。そのため、表乾状態のくり粉を目開きが1.18mmのふるいで微粒分を除去する。

②くり粉の撮影

カメラによる撮影では、カメラの性能や撮影する際の

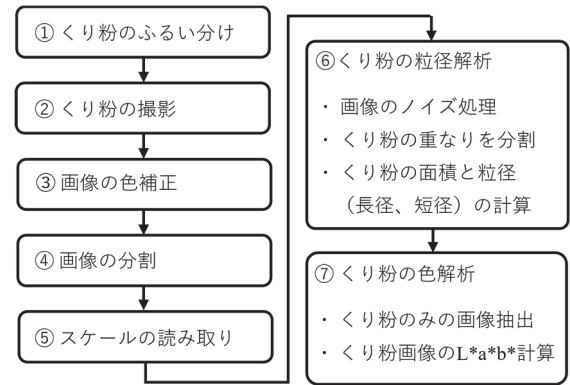


図-3 くり粉の画像解析手順



写真-2 カラーチャートとくり粉撮影画像

光の影響を受けるため、再現性に問題がある。そのため、再現性を得る撮影方法として、写真-2のようにカラーチャート（色見本）をくり粉と一緒に撮影し、画像解析の段階で色補正する。カメラスタンドを用いて高さ90cmの位置に汎用のデジタルカメラを固定し、記録画素数5,184×3,888で撮影する。なお、くり粉を採取した場所が分かるよう、画像ファイル名に削孔位置（右側はR、左側はL）と距離程を付して保存する。

③画像の色補正

カラーチャート（24色のカラーパッチ）と測定した色の違いをもとに色補正用のプロファイル（変換データ）を生成し、くり粉の画像に適用して正確な色に補正する。

④画像の分割

カラーチャートの画像とくり粉のみの画像に分割する。

⑤スケールの読み取り

カラーチャートのスケール読み取り方法を写真-3に示す。マウスを用いてカラーチャート画像の目盛の両端（0mmと50mm）上にライン（青）の端点（2カ所）を合わせる。この操作から長さ50mmに相当するピクセル数が分かり、この換算係数を用いて、くり粉の粒径（面積、長径、短径）などを把握できる。

⑥くり粉の粒径解析

くり粉の粒径解析の経過を示す画像のうち、主な画像

例を写真－4に示す。色補正したくり粉画像のノイズを除去したのち、くり粉の重なる領域を分割し、くり粉を認識し、その面積と粒径を求める。

(a) ノイズの除去

撮影した画像にはノイズが入り込んでいる場合があり、二値化処理した画像に対して画像の穴埋め（モルフォロジー処理）⁶⁾や一定以下の面積を占める領域の削除により画像のノイズを除去する。

(b) くり粉の重なる領域を分割

くり粉が重なり一塊になっていると、粒径などの長さを正しく計測できない。そのため、くり粉の重なる領域をそれぞれのくり粉の画像に分割するウォーターシェッド変換（くり粉の中心と周辺の明度の違いからくり粉の境界を検出する）で分割し、各くり粉を識別する（写真－4 (a)、写真－4 (b)）。ウォーターシェッド変換の模式図を図－4に示す。ウォーターシェッド変換は、画像を地形図に見立て、画像の輝度値を標高として扱う画像処理で明るい部分を山、暗い部分を谷とし、隣接するくり粉との境界を求める。

(c) くり粉粒子の面積と粒径

二値化した画像から、くり粉別に面積と粒径を楕円体近似して長径と短径を求める。

⑦くり粉の色解析

二値化によるくり粉の背景からマスク⁶⁾を作成し（写真－4 (c)）、色補正した画像に重ね合わせることで、くり粉のみの画像を抽出する（写真－4 (d)）。

抽出したくり粉画像の色情報から図－5に示す $L^*a^*b^*$ の色空間に基づいて L^* （明度）、 a^* （緑～赤軸の色度）、 b^* （青～黄軸の色度）を計算する。

1 回の削孔検層で撮影した複数の画像ファイルについて、上記の③～⑦の一連の解析を連続して行い、解析結果をトンネル距離程順に整理して出力する。

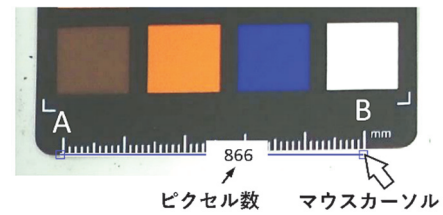
5. 現場適用による検討

5.1 適用現場と適用区間

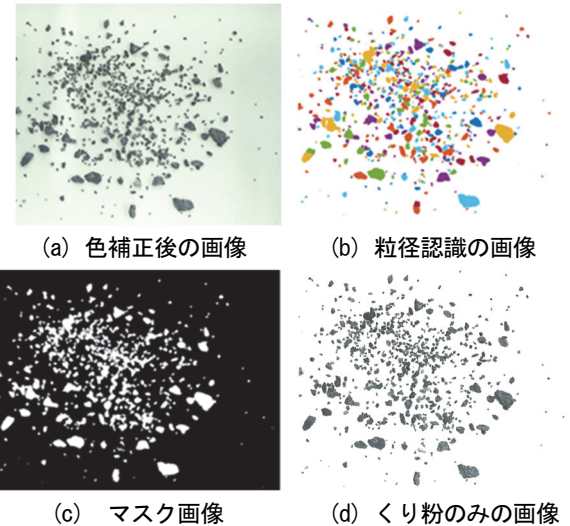
適用現場の阪本トンネル⁴⁾は奈良県五條市の山間部に位置し、周辺の地質が付加体特有の砂岩、泥岩の互層から構成されている。削孔検層は、概ねトンネル全線にわたり30回実施し、1回あたりトンネル切羽下半盤の側壁に近い左右2か所から切羽前方にそれぞれ30m程度の削孔を行った。写真－5は、トンネル切羽下半盤の左側から削孔検層を行っている状況を示す。なお、削孔検層を実施したトンネル距離程がTD600m～TD890mの範囲で3m（1本のロッド長）ごとに採取したくり粉を用いて画像解析を行った。

5.2 適用結果

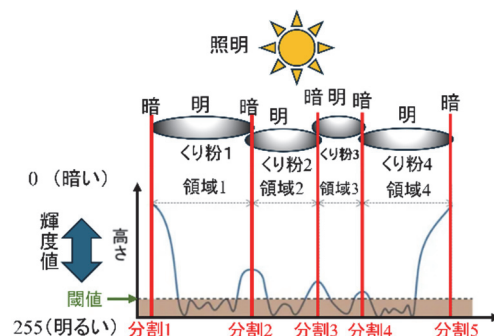
画像解析から求めたくり粉の長径の平均値（長径の合計を個数で除した値）と色解析で求めたくり粉の L^* 、 a^* 、



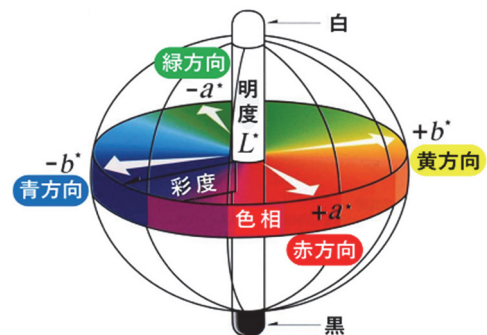
写真－3 カラーチャートのスケール読み取り



写真－4 くり粉の画像抽出



図－4 ウォーターシェッド変換の模式図



図－5 $L^*a^*b^*$ の色空間⁷⁾

b^* の平均値を削孔検層時の削孔エネルギーおよび切羽観察による切羽評価点と比較した。切羽左側の削孔検層による削孔エネルギーと採取したくり粉の画像解析結果を

左肩部の切羽評価点と比較した図を図-6に示す。

地山が軟質化する TD715m 付近は珪質泥岩から細粒砂岩が混在する地山に変化する付近であり、削孔エネルギー（図-6(e)）の 1m 区間の平均値は TD700m～TD701m の $234\text{J}/\text{cm}^3$ から TD736m～TD737m の $106\text{J}/\text{cm}^3$ に減少し、切羽評価点（図-6(a)）は 1.8 から 2.1 に大きくなっている。これは地山が劣化した状態に変化したことを表しており、両者は比較的よく対応している。

また、図-6において、削孔エネルギーが $100\text{J}/\text{cm}^3$ 以下となる TD800m～TD810m 区間と TD880m～TD890m 区間の結果をハッチング（赤色）して比較すると、切羽

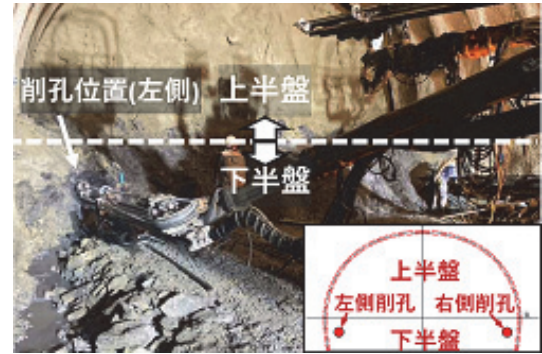


写真-5 トンネル切羽下半盤左側の削孔検層状況

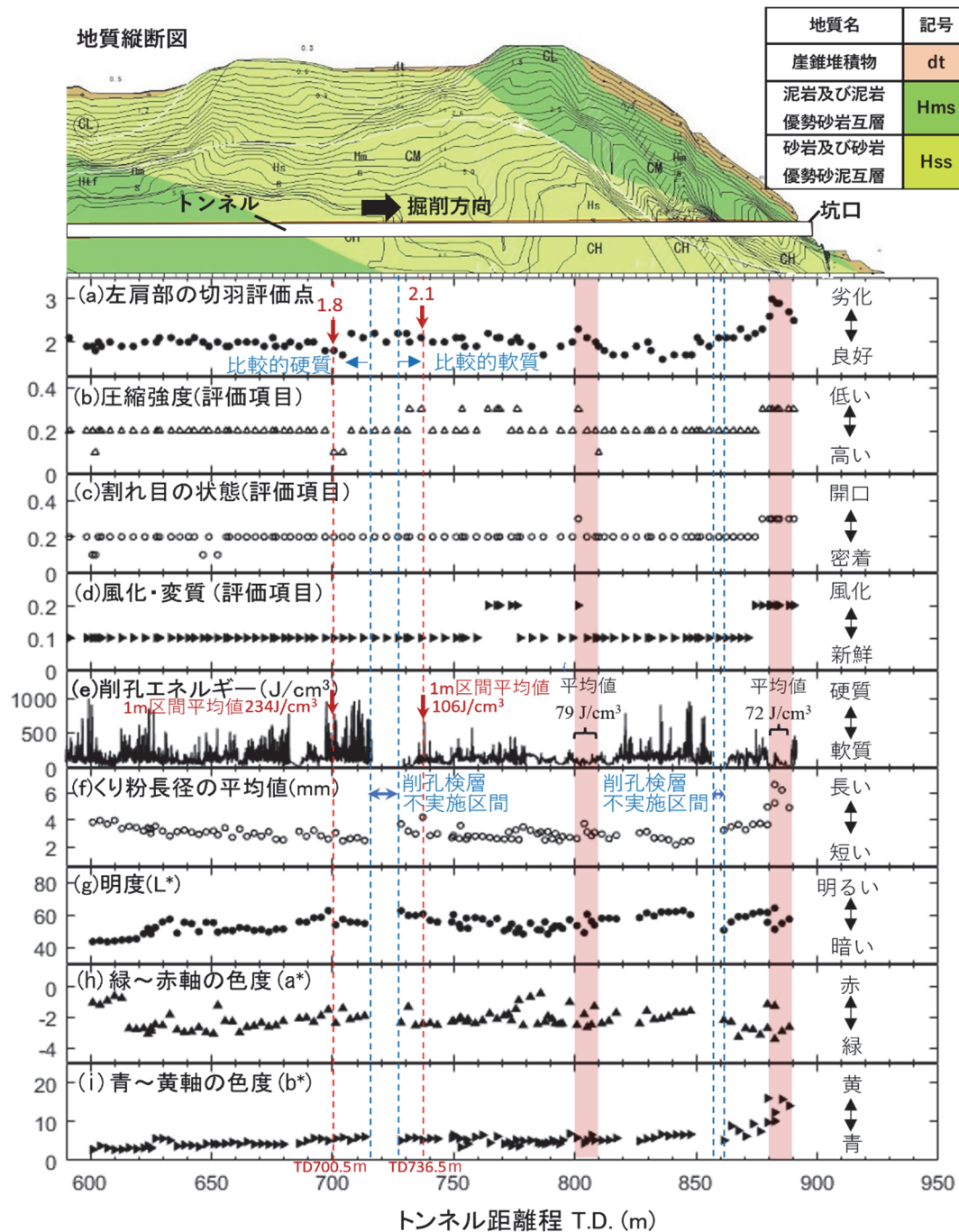
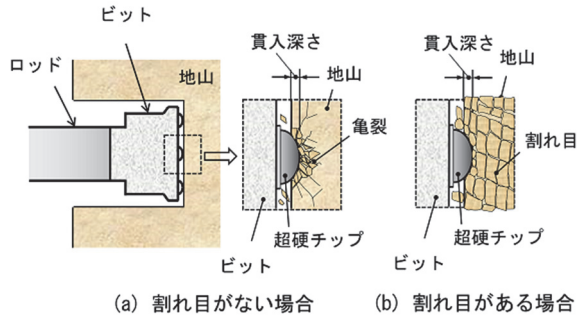


図-6 切羽評価点・削孔エネルギー・くり粉の画像解析結果の比較（トンネル切羽の左側）



図－7 割れ目の有無によるくり粉サイズの違い

評価点は、TD800m～TD810m 区間の約 2.0 に対して、坑口付近 TD880m～TD890m 区間では約 3.0 と高い評価になり、切羽観察の結果は脆弱な地山状態であると判定された。TD880m～TD890m は、地質縦断面図から坑口近くの崖錐堆積物等の風化の影響を受けた地山区間であることが分かる。一方、削孔エネルギーの平均値は、坑口付近 TD880m～TD890m 区間で 72 J/cm³、TD800m～TD810m 区間で 79 J/cm³ と同程度であり、大きな違いが見られない。この要因は、切羽評価点の評価項目である「割れ目の状態」(図－6 (c)) の評価点が 0.2 から 0.3 に変化し、より割れ目の状態が開口・劣化していると評価したこと、「風化変質」(図－6 (d)) の評価点が 0.1 から 0.2 に変化し、地山の性状がより風化していると評価したことが考えられる。

くり粉の画像解析によると、TD880m～TD890m 区間におけるくり粉の長径の平均値 (図－6 (f)) は 3mm から 6mm 程度まで大きくなり、粒径の大きいくり粉が増えたことが確認できる。この区間が亀裂性の地山であることを示すと考えられる。くり粉の粒径が地山の亀裂性と相関する理由を以下のように推察する。

図－7 に、割れ目の有無による地山破碎時のくり粉サイズの違いを示す。削孔する際のビットが地山に押し当てられた状態において、先端の超硬チップ付近の地山に割れ目がない場合は、チップ周辺に破碎によって微細な亀裂が生成され、くり粉が小さくなるのに対し、潜在的な割れ目がある場合は、割れ目で剥がれ比較的大きなくり粉になったと考える。

また、b* の平均値 (図－6 (i)) が 5 から 14 付近まで大きくなっていることから、風化を受けて褐色や黄色を呈するくり粉が増えており、この区間で「風化変質」が高く評価された要因と考えられる。

6. まとめ

くり粉の画像解析結果を削孔エネルギーおよび切羽評価点と比較することで、トンネル切羽前方の地山評価の妥当性を検証し、以下の知見が得られた。

- i. 切羽評価点と削孔エネルギーは比較的良好に整合し、

特に、削孔エネルギーの変動幅でも 1m 区間の平均値が 234 J/cm³ の場合は変動幅が大きく、1m 区間の平均値が 106 J/cm³ の場合は変動幅が小さく、地山の変化を明瞭に識別できる

- ii. 切羽評価項目のうち、割れ目の状態や風化変質は、削孔エネルギーによる評価では判別が難しいが、このような場合において、くり粉の画像解析から求めたくり粉の大きさと関係する長径平均値は割れ目の状態と相関性が高く、色の指標である L*a*b* のうち、特に b* は風化変質との相関が高かった
- iii. くり粉の画像から求めたくり粉の大きさや色の指標は、削孔エネルギーによる評価が難しい割れ目の状態や風化変質といった評価に有用性が高いことを確認した

7. あとがき

切羽観察項目のうち、割れ目の頻度や風化による変色などをくり粉の画像解析から定量的に評価することが可能であり、切羽前方の地山性状を評価する上で有益な情報を得られることが分かった。今後、異なる岩種への適用を検討するとともに、削孔検層遠隔モニタリングシステムと組み合わせることで、切羽前方地山評価手法の高度化を図りたい。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本道路協会、「道路トンネル観察・計測指針(H21 改訂版)」、丸善出版、pp.23-24、2009.2
- 2) 塚本耕治、今泉和俊、「高周波サンプリング削孔検層システムを用いたトンネル切羽前方探査」、土木学会第 66 回年次学術講演会、VI-409、pp.817-818、2011.8
- 3) 塚本耕治、山田昂平、「削孔時に採取したくり粉の画像を用いたトンネル切羽前方地質評価の検討」、地盤工学会第 58 回地盤工学研究発表会、2023.7
- 4) 岡本真輝、「(仮称) 阪本トンネルの掘削時における支保パターンの決定について」、令和 5 年度近畿地方整備局研究発表会論文集、2023.9
- 5) 国土交通省近畿地方整備局道路部道路工事課、「トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)(平成 18 年 9 月試行案の改訂版)」、2016.7
- 6) 小枝正直、上田悦子、中村恭之、「OpenCV による画像処理入門 3 版」、講談社、pp.149-174、2022.12
- 7) 日本電色工業株式会社、「色と光・色の数値化」、https://nippondenshoku.co.jp/web/japanese/color/color_story

既製杭埋込み方式による杭頭接合部の 設計合理化のための実験的研究

－鉄骨造の基礎梁を想定した構造実験－

Experimental Study on Rationalization of Design for Pile Cap Using Precast Pile Embedment Method - Structural Experiment Assuming Steel Foundation Beams -

和田湧気* 山上 聡* 岸本 剛**

要 旨

既製杭埋込み方式を用いたパイルキャップの鉄骨基礎梁工法への適用性ならびに、杭頭埋込み部の設計用限界値の提案式の検証を目的として、5 体の試験体による曲げせん断実験を実施した。本実験から、荷重－変形関係および鉄筋降伏等に代表されるパイルキャップの損傷過程を把握するとともに、提案式により各試験体の最大耐力を概ね適切に評価できることを確認した。また、パイルキャップ寸法の縮小等による設計の合理化の可能性が示唆された。さらに、各試験体の構造性能に基づき、鉄骨基礎梁工法への適用と設計法確立に向けた知見を示した。

キーワード：既製杭、パイルキャップ、杭頭埋込み部、曲げせん断実験、基礎梁

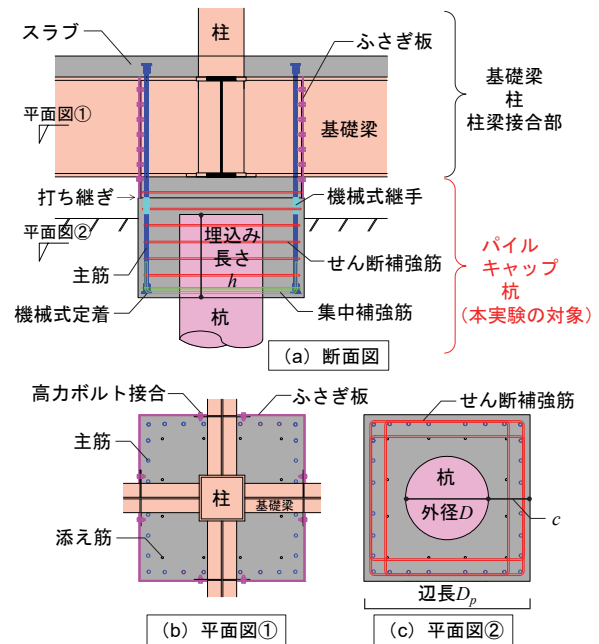
1. まえがき

筆者らは、既製杭により支持する建物の基礎梁を、鉄骨造で構築する工法（以下、「鉄骨基礎梁工法」）の研究開発を行っている¹⁾。本工法は、従来、鉄筋コンクリート造で構築されてきた基礎梁を、図－1 に示すように鉄骨造とするものであり、施工手間の削減や基礎梁の軽量化による杭断面の縮小が期待される。一方、基礎梁を鉄骨造とした場合、杭位置の施工誤差や基礎梁のフランジ幅の制約により、杭頭接合のために用いる定着筋の配置が困難となることが想定される。そこで、既製杭の杭頭接合法の一つである埋込み方式（杭頭部をパイルキャップに埋め込む）を用いることが考えられる。

文献 2) には、杭頭接合に埋込み方式を用いた場合を対象として、設計用限界値の評価式が示されている。その適用範囲は、杭表面からパイルキャップ側面までの距離 c が $0.75D$ 以上（ D ：杭外径）となる形状であり、これよりパイルキャップ辺長 D_p は $2.5D$ 以上となる。また、パイルキャップ内への杭頭埋込み長さ h を $1.0D$ 以上とし、かつ埋込み部の杭中空部には、パイルキャップと同等以上の中詰めコンクリートを打設することとされている。筆者らの既往の論文 3) では、埋込み方式（定着筋の併用を含む）を用いた杭頭接合部を有するパイルキャップを対象とし、従来規定よりも小さい $D_p = 2.0D$

の試験体を基本とした曲げせん断実験について報告した。さらに、設計用限界値の評価式を提案した（以下、「提案式」）。

本報では、既製杭埋込み方式を用いたパイルキャップの鉄骨基礎梁工法への適用と提案式の検証を目的とした、5 体の試験体による曲げせん断実験について報告する。



図－1 鉄骨基礎梁工法の構成（納まり図例）

*技術本部技術研究所建築研究グループ **技術本部技術戦略部技術戦略課

2. 曲げせん断実験の概要

2.1 試験体仕様・形状

試験体仕様の一覧を表-1に、試験体形状を図-2、図-3に示す。本報で主に検討対象とする試験体はNo.9～13の5体であり、比較のため、論文3)で報告した試験体No.1、No.3を再掲する。

本実験は、図-1に示す鉄骨基礎梁工法の架構のうち、基礎梁より下部の範囲を取り出した実験であり、寸法は縮尺 1/2.5 としている。図-2、図-3に示すように、パイルキャップを模擬した鉄筋コンクリート部に杭を埋め込み、パイルキャップの主筋によりスタブに固定した試験体形状とした。なお、実際の建物内での設置状態に対して上下反転させた配置としており、以下、上下方向は試験体の位置関係に基づいて記述する。

試験体No.1は、定着筋を設けずに杭頭埋込み長さを $h = 1.0D$ とした試験体である。試験体No.3は、これに対して $h = 0.5D$ と短くしている。試験体No.9は、埋込み

方式と定着筋の併用を想定し、 $h = 0.5D$ の埋込みに加え、フレア溶接により SC 杭の鋼管に定着筋を設けている。

試験体No.10以外では、杭中空部にパイルキャップ上端から+200mm まで、パイルキャップのコンクリートと同強度のコンクリートを打設している。試験体No.10については、文献2)で打設が必要とされている中詰めコンクリートの有無による影響の確認を目的とし、杭下端に蓋を設け、杭を中空の状態としている。また、試験体No.10以外では、外径 400mm、厚さ 65mm (鋼管厚 14mm)、鋼管材質 SKK490 の SC 杭をそのまま用いている。一方、試験体No.10では、縮尺 (1/2.5) を考慮し、2.5 倍のサイズに換算した時に実際の SC 杭の鋼管厚に近づけるため、鋼管表面を切削加工し、鋼管厚を 6mm まで薄くしたものを用いている。さらに、図-2(b)に示すように、試験体No.10のパイルキャップには、コンクリート打ち継ぎ面を設け、主筋には機械式継手 (ねじ鉄筋継手) を適用した。鉄骨基礎梁工法では、図-1に示すように、施工上の都合によりパイルキャップと柱梁

表-1 試験体仕様の一覧

No.	SC 杭 鋼管厚 t 中詰めコンクリート有無	定着筋 本数－呼び径 材質	杭頭 埋込み 長さ h	パイル キャップ 辺長 D_p	コンクリート 設計基準強度 F_c	パイルキャップ の打ち継ぎ有無	パイルキャップ配筋			
							せん断補強筋		主筋	
							本数－呼び径 ピッチ	材質	せん断補強筋比* ρ_w	本数－呼び径 材質
1	$t = 14\text{mm}$ 中詰めあり	－ 8－D22 SD490	400mm (1.0D)	800mm (2.0D)	36N/mm ²	なし	4－D10 @50mm	SD345	0.71%	8－D19 SD390
3			200mm (0.5D)							
9										
10	$t = 6\text{mm}$ 中詰めなし						あり			
11	$t = 14\text{mm}$ 中詰めあり	－	400mm (1.0D)			なし	4－D6 @75mm	SD295	0.21%	6－D16 SD390
12				4－D10 @75mm	SD345		0.48%			
13				4－S6 @75mm	KSS785		0.21%			

※ せん断補強筋比 $p_w = (n \cdot a_s) / (D_p \cdot x)$ n : 1 段のせん断補強筋本数 a_s : せん断補強筋の 1 本あたりの断面積 x : せん断補強筋のピッチ

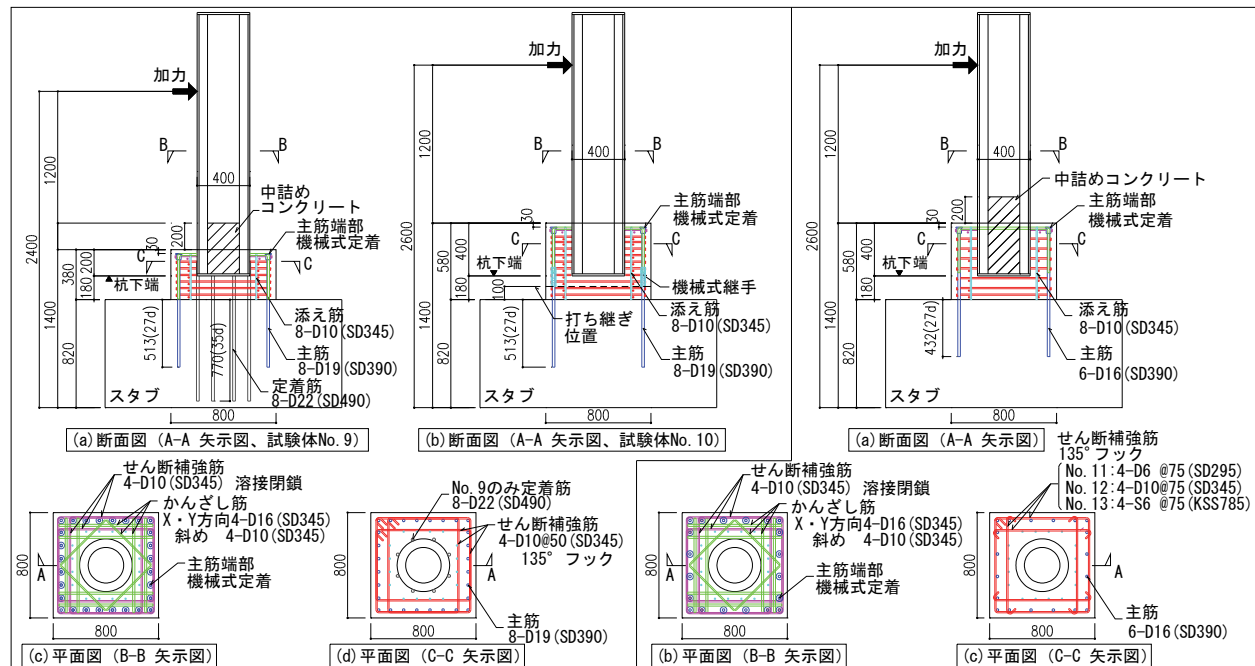


図-2 試験体 No.9、10 の形状 (単位: mm)

図-3 試験体 No.11～13 の形状 (単位: mm)

表－２ コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
No.9	39.23	31.17
No.10	38.83	29.57
No.11	37.93	31.31
No.12	40.83	31.51
No.13	38.30	31.47

表－３ 鉄筋の材料試験結果

試験体	使用部位	呼び径	材質	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	降伏ひずみ $\epsilon_y(\mu)$
No.9、10、12	せん断補強筋	D10	SD345	397.9	184.7	2154
No.11	せん断補強筋	D6	SD295	358.2	170.4	2102
No.13	せん断補強筋	S6	KSS785	912.1	178.6	5107
No.9、10	主筋	D19	SD390	437.1	188.6	2318
No.11～13	主筋	D16	SD390	448.7	192.9	2326
No.9	定着筋	D22	SD490	535.9	193.3	2772

接合部の間に打ち継ぎ面が生じ、主筋を機械式継手とする場合があることから、これらがパイルキャップの構造性能に与える影響が軽微に留まることの確認を目的としている。

試験体 No.11～13 では、せん断補強筋（パイルキャップ内の杭の周囲に配置した横筋）の配筋をパラメータとしている。また、試験体 No.1、No.3 を含む論文 3) で報告した試験体では、主筋（8-D19）は概ね未降伏であった。図－１に示すように、鉄骨基礎梁工法において、主筋はパイルキャップと柱梁接合部を結合する役割を担う。そこで試験体 No.11～13 では、主筋降伏以降のパイルキャップの構造性能を確認するため、他の試験体とは異なる配筋（6-D16）としている。

以上のように、試験体 No.9～13 では、既製杭パイルキャップの鉄骨基礎梁工法への適用性を検討するため、種々の仕様を設定している。なお、杭からパイルキャップへの荷重伝達を確実にを行うため、いずれの試験体も、図－２(c)、図－３(b)に示す通り、パイルキャップ上端のせん断補強筋は SD345 の端部溶接閉鎖とし、さらにかんざし筋を挿入することで集中的に補強した。ここで、試験体 No.9～13 に用いた主な材料について、材料試験より得られた各物性値を表－２、表－３に示す。なお、SC 杭の材料特性については、論文 3) を参照されたい。

2.2 加力方法

加力装置の概要を図－４に示す。地震時の杭の反曲点位置を想定し、いずれの試験体もパイルキャップ上端から+1200mm (3.0D) の位置に取り付けた水平ジャッキにより、正負交番の繰り返し加力を行った。論文 3) と同様に、いずれの試験体においても杭に軸力は作用させていない。

加力サイクルは部材角 R により制御し、 $R=\pm 0.25\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.0\%$ 、 $\pm 3.0\%$ 、 $\pm 4.0\%$ を 2 サイクルずつ繰り返した後、 $R=+10\%$ まで一方方向の単調加力を行う計画とした。

3. 実験結果

3.1 荷重－変形関係と鉄筋降伏の過程

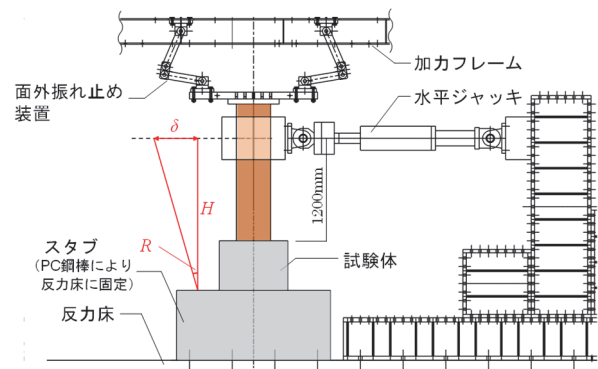
試験体 No.9、No.10、No.13 について、加力点における水平荷重 Q と部材角 R の関係（以下、「 $Q-R$ 関係」）および鉄筋降伏の過程を図－５に示す。また、試験体

No.10、No.13 を例として、特徴的な破壊状況を写真－１～写真－３に示す。

図－５(a)に示す通り、試験体 No.9 では、定着筋が $R=+0.4\%$ 程度で降伏した後荷重は増加し続け、正側は概ね $R=+1.5\%$ 変形時に最大荷重を示した。図－５(b)に示す通り、試験体 No.10 では、せん断補強筋が $R=+2.5\%$ 程度で降伏し、正側は概ね $R=+3.0\%$ 変形時に最大荷重を示した。なお、試験体 No.9、No.10 では、主筋は未降伏であった。図－５(c)に示す通り、試験体 No.13 では、主筋が $R=+1.3\%$ 程度で降伏した一方、KSS785 のせん断補強筋は未降伏であった。なお、試験体 No.11、No.12 ではせん断補強筋と主筋が $R=+1.2\sim+1.4\%$ 程度で降伏した（既往論文⁴⁾参照）。また、試験体 No.11～13 では、鉄筋降伏後も荷重は緩やかに増加し続け、正側は概ね $R=+3.0\%$ 変形時に最大荷重を示した。

写真－１に示すように、各試験体において、上面から加力方向前面にかけて、杭前方のパイルキャップのコンクリートが杭により押し出される破壊状況が顕著に見られた。写真－２に示すように、試験体 No.10 では、加力方向後面に生じた曲げひび割れに加え、打ち継ぎに沿ったひび割れも確認されたが、上面から加力方向前面にかけて生じたひび割れと比較すると、進展は小さかった。

また、いずれの試験体でも各鉄筋の降伏後に急激な水平抵抗の喪失は生じず、試験体 No.10 を除いて $R=+10\%$ まで加力可能であった。試験体 No.10 は、 $R=+10\%$ を目標とした一方方向単調加力の過程において、写真－３に示すように、SC 杭鋼管の圧縮側が膨らむような変形が見られたため、 $R=+4.37\%$ の段階で除荷し、実験を終了した。



図－４ 加力装置の概要

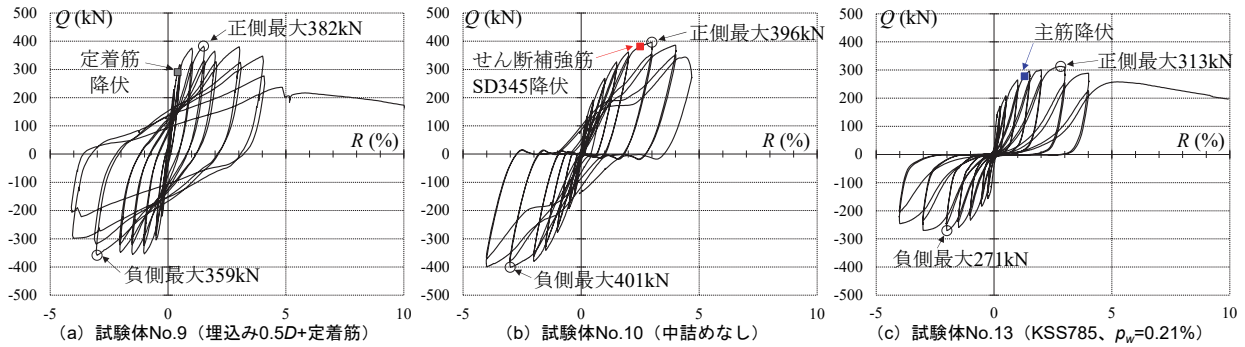
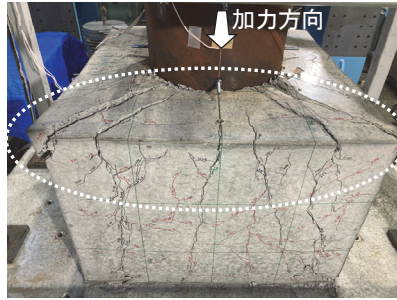
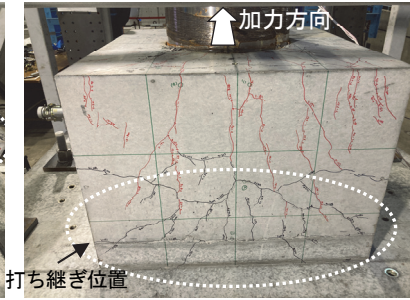
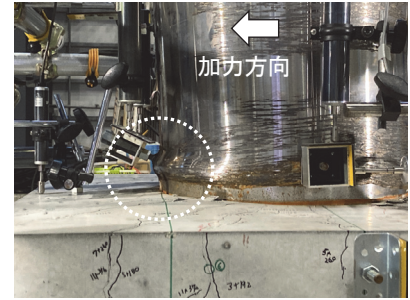


図-5 各試験体の Q-R 関係と鉄筋降伏の過程

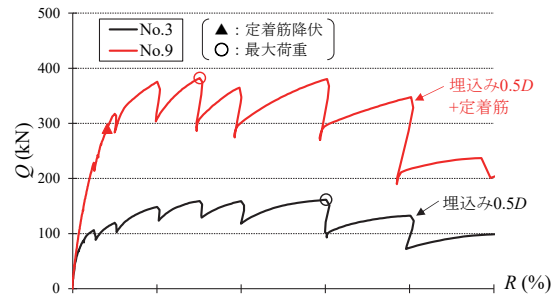
写真-1 上面・加力方向前面
(試験体 No.13、 $R = +10\%$ 時)写真-2 加力方向後面
(試験体 No.10、 $R = +4.37\%$ 時)写真-3 SC 杭鋼管
(試験体 No.10、 $R = +4.0\%$ 時)

3.2 荷重-変形関係の包絡線の比較

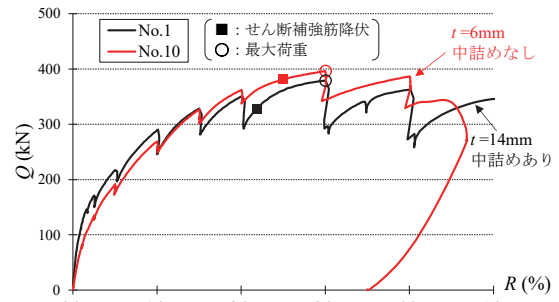
Q-R 関係の包絡線の比較を図-6 に示す。同図(a)より、試験体 No.3 と比較して、定着筋を設けた試験体 No.9 では水平抵抗が大幅に増加している。これは、杭頭埋込み部の抵抗に加えて、定着筋による抵抗が複合的に発現しているためと推察される。

図-6 (b)より、鋼管厚 6mm で中詰めコンクリートを有さない試験体 No.10 は、試験体 No.1 と比較して、最大荷重まで顕著な差は生じていなかった。したがって、前述の通り、試験体 No.10 は一方向単調加力の途中で加力を終了しているものの、パイルキャップにおける埋込み部の耐力は、試験体 No.1 と同程度であると考えられる。また、せん断補強筋についても、試験体 No.1 は $R = +2.2\%$ 程度、試験体 No.10 は $R = +2.5\%$ 程度と、同一サイクル内で降伏しており、明確な差は見られなかった。ただし、本実験で中詰めコンクリートを有さない試験体は、種々の仕様を取り入れた試験体 No.10 のみであり、埋込み部の水平抵抗に対する中詰めコンクリートの影響については、今後さらに詳細な検証が必要である。

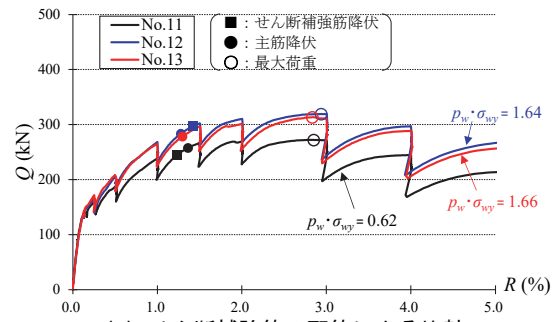
図-6 (c)より、試験体 No.12 と No.13 には顕著な差は認められない。一方で、 $p_w \cdot \sigma_{wy}$ が小さい試験体 No.11 は、最大荷重がやや小さい結果となっている。ここで、図中の σ_{wy} は、せん断補強筋の規格降伏強度とする。論文 3)では、パイルキャップ上端から杭下端にかけて、せん断補強筋のひずみが大きく、降伏ひずみに達する箇所が生じることを報告した。試験体 No.11~13 においても同様の傾向が確認されており、せん断補強筋が杭頭埋込み部のせん断耐力に影響していると考えられる。



(a) 定着筋有無による比較



(b) SC 杭断面の違いによる比較



(c) せん断補強筋の配筋による比較

図-6 Q-R 関係の包絡線 (正方向加力時)

3.3 主筋のひずみ性状

試験体 No.13 を例として、各部材角における 1 サイクル目ピーク時のひずみ分布を図-7 に示す。

図-7 より、部材角 R の増加に伴い、主筋のひずみが増大し、降伏ひずみ ε_y に達する箇所が生じている。また、杭幅内のひずみゲージ F7、F8 は、加力方向前方の位置（正方向加力時は F8）においても、 $R = +0.5\%$ 以降で引張状態にあり、曲げ抵抗に寄与していないことがわかる。なお、この傾向は、図-7 に示した試験体 No.13 以外でも同様に確認された。最大荷重に至る過程において、写真-1 に示すように、杭前方のコンクリートが杭により押し出される破壊性状が見られた。これがひずみゲージ F7、F8 の挙動に影響していると考えられる。

主筋の設計を行う場合、梁の曲げに対する断面算定⁵⁾に倣い、平面保持を仮定し、引張鉄筋と応力中心距離から曲げモーメントの限界値を算定する手法が考えられる。しかし、前述のひずみ分布の傾向から、本実験の試験体では、パイルキャップの平面保持の仮定は成立せず、杭幅を除いた範囲に位置する主筋とコンクリートを対象として曲げモーメントの限界値を設定する必要があると考えられる。

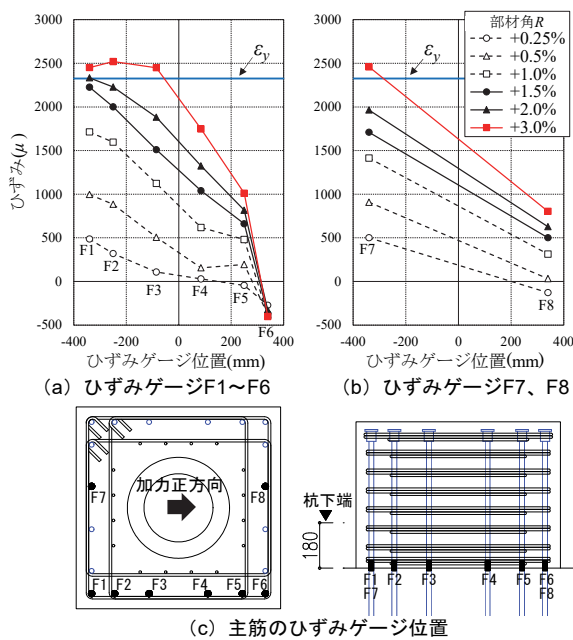


図-7 試験体 No.13 主筋のひずみ（引張：正）

4. 杭頭埋込み部の設計用限界値の検証

4.1 安全限界状態の設計用限界値の提案式

本章では、論文3)に示した提案式による計算値 Q_{cal} と、実験値 Q_{max} （各試験体の正方向最大荷重）の対応を確認する。提案式では、埋込み部の安全限界曲げモーメント ${}_uM$ に対応する加力点の荷重 ${}_uQ_m$ と、安全限界せん断力 ${}_uQ_s$ を用い、 $Q_{cal} = \min({}_uQ_m, {}_uQ_s)$ と定義することで、実験値を高い精度で評価できることを示した。

ここで、安全限界曲げモーメントは、日本建築学会「鋼構造接合部設計指針⁶⁾」の埋込み柱脚の最大曲げ耐力式を準用した式(1)により算定する。また、その時の加力点における荷重は、式(2)により算定できるものとする。安全限界せん断力については、論文3)に示した検討結果を踏まえ、せん断補強筋の有効係数を 0.28 とした式(3)により算定する。

$${}_uM = F_c \cdot D \cdot L \left\{ \sqrt{(2L+h)^2 + h^2} - (2L+h) \right\} \quad (1)$$

$${}_uQ_m = \frac{{}_uM}{L} \quad (2)$$

$${}_uQ_s = \left(0.335\sqrt{F_c} + 0.28 \cdot p'_w \cdot \sigma_{wy} \right) \cdot A_s \quad (3)$$

F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

D : 杭外径(mm) L : 加力スパン(mm)

h : 杭頭埋込み長さ(mm)

p'_w : 幅 $(c+D)$ を用いたせん断補強筋比で、

$$p'_w = \frac{n \times a_s}{(c+D) \cdot x}$$

n : 1 段のせん断補強筋本数

a_s : せん断補強筋の 1 本あたりの断面積(mm²)

c : 杭表面からパイルキャップ側面までの距離(mm)

x : せん断補強筋のピッチ(mm)

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)

A_s : せん断破壊面の水平投影面積(mm²)で、

$$A_s = c \times (c+D)$$

4.2 提案式と実験結果の比較

試験体 No.1、No.3、No.9～13 について、実験値 Q_{max} と、提案式による計算値 Q_{cal} の比較を表-4 に、両者の関係を図-8 に示す。ここで、試験体 No.9～13 のコンクリート強度 F_c は、表-2 に示す実強度を用いた。また、せん断補強筋の降伏強度 σ_{wy} は、表-3 に基づき、試験体 No.9、No.10、No.12 では 397.9 N/mm² (SD345)、試験体 No.11 では 358.2 N/mm² (SD295) を用いた。さらに、試験体 No.13 では、前述の通り KSS785 のせん断補強筋が未降伏であったことから、実験で確認された最大ひずみに基づき、 $\sigma_{wy} = 590$ N/mm² を用いた。なお、試験体 No.1、No.3 の計算値は、論文3)と同一である。

また、定着筋を設けた試験体 No.9 では、論文3)と同様に平面保持を仮定した断面の曲げ解析により、杭下端位置での安全限界曲げモーメントを算定し、これを加力点の荷重 ${}_uQ_0$ に換算したうえで、杭頭埋込み部の計算値に累加した。この時、定着筋にはバイリニア型の応力-ひずみ関係を、コンクリートには e 関数法に基づく応力-ひずみ関係（引張抵抗は考慮しない）を適用し、圧縮側最外縁のコンクリートのひずみが 3000 μ に達した時点を実安全限界曲げモーメントと定義した²⁾。なお、定着筋

とコンクリートの材料定数は、表－２、表－３に示す値を用いた。

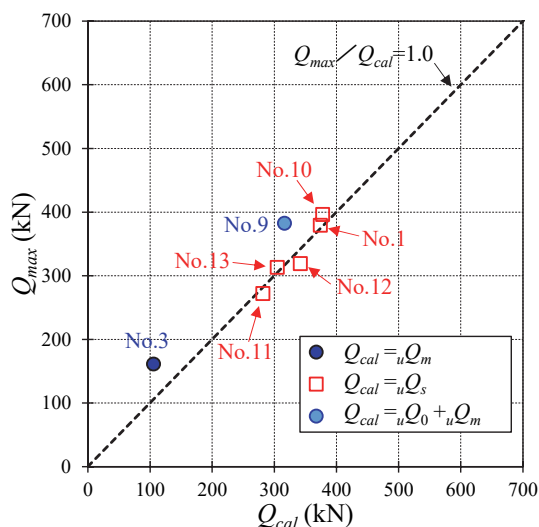
表－４、図－８より、試験体 No.1 および No.10～13 では $uQ_m > uQ_s$ となり、 $Q_{max}/Q_{cal}=1.0$ 付近に分布する。ただし、せん断補強筋の降伏に加えて主筋の降伏が生じた試験体 No.11 および No.12 では、 Q_{max}/Q_{cal} が 1.0 をやや下回る結果となった。一方、 $h = 0.5D$ である試験体 No.3 および No.9 では $uQ_m < uQ_s$ となり、それぞれ Q_{max}/Q_{cal} が 1.53、1.21 で、 Q_{max} に対し Q_{cal} が小さめとなる傾向がある。

試験体 No.9～13 では、SC 杭鋼管の変形や主筋の降伏が生じているものが含まれ、杭頭埋込み部の破壊のみが必ずしも最大荷重の決定要因ではないと考えられる。しかしながら、表－４、図－８の傾向より、論文 3) で示した試験体 No.1～8 と同様に、提案式により実験値 Q_{max} を概ね適切に評価できることが確認された。ただし、本研究では $Q_{cal} = \min(uQ_m, uQ_s)$ のみに基づく評価としているため、コンクリートの破壊状況との対応関係の検討や、主筋降伏により規定される耐力との比較など、さらなる検証が必要である。また、式(3)における $p'_w \cdot \sigma_{wy}$ は、試験体 No.1～13 において $1.01 \sim 5.62 \text{ N/mm}^2$ の範囲に分布しており、提案式におけるせん断補強筋量の適用範囲の整理も今後の課題であるといえる。

表－４ 実験値 Q_{max} と計算値 Q_{cal} の比較

No.	実験値	計算値				実験値／計算値
	Q_{max} (kN)	uQ_0 (kN)	uQ_m (kN)	uQ_s (kN)	Q_{cal} (kN)	
			最小値を太字で記す			
1	379	—	427	374	374	1.01
3	161		106	364	106	1.53
9	382	196	121	379	316 [※]	1.21
10	396	—	442	378	378	1.05
11	272		431	281	281	0.97
12	319		464	342	342	0.93
13	313		436	305	305	1.03

※ 試験体 No.9 は、 $Q_{cal} = \min(uQ_m, uQ_s) + uQ_0 = uQ_m + uQ_0$



図－８ 実験値 Q_{max} と計算値 Q_{cal} の関係

5. まとめ

既製杭埋込み方式を用いたパイルキャップの鉄骨基礎梁工法への適用性ならびに、杭頭埋込み部の設計用限界値の提案式の検証を目的として、5 体の試験体による曲げせん断実験を実施した。本報では、 $Q-R$ 関係、鉄筋降伏の過程および破壊状況を示し、これらの実験結果から、既往の研究による提案式の妥当性を確認した。さらに、筆者らが提案する鉄骨基礎梁工法の架構（図－１）を実現するための基礎資料として、コンクリートに打ち継ぎ面を有し、主筋に機械式継手を用いた試験体の構造性能や、降伏に至るまでの主筋のひずみ性状を整理して示した。

本報では、従来の $D_p = 2.5D$ よりも小さいパイルキャップについて、埋込み方式と定着筋を併用した場合や中詰めコンクリートを設けない場合など、既往の文献では適用範囲外とされている仕様における構造性能を示した。これらの知見は、今後のさらなる研究により、従来よりも合理的なパイルキャップの設計につながる可能性を示している。

【謝辞】

本研究において、芝浦工業大学 岸田慎司教授からご指導とご助言を受けた。ここに感謝を記す。

【参考文献】

- 1) 山上 聡、和田湧気、岸本 剛、反町 敦、岡 靖弘、「鉄骨を用いた基礎梁とパイルキャップの応力伝達機構に関する研究 一部分架構試験体による性能確認」、奥村組技術研究年報、No.50、pp.55-60、2024
- 2) 日本建築学会、「基礎部材の強度と変形性能」、2022
- 3) 和田湧気、岸本 剛、山上 聡、岡 靖弘、岸田慎司、「既製杭埋込み方式による杭頭接合部の設計合理化のための実験的研究」、日本建築学会構造工学論文集、Vol.71B、pp.41-50、2025
- 4) 和田湧気、山上 聡、岸本 剛、岸田慎司、「鉄骨造の基礎梁を想定した既製杭パイルキャップの構造実験」、日本建築学会技術報告集、第 32 巻、第 80 号、pp.133-138、2026
- 5) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」、2024
- 6) 日本建築学会、「鋼構造接合部設計指針」、2021

黒鉛潤滑を用いたすべり機構を有する 構造物の耐震性能に関する研究

Research on the Seismic Performance of Structures with Graphite-Lubricated Sliding Mechanisms

洲鎌 星* 小山慶樹** 山上 聡* 安井健治*

要 旨

近年、鋼・コンクリート・黒鉛などの安価で一般的な材料を用いて、経済性と高い耐震性能を両立した構造物の実現が目指されている¹⁾など。黒鉛潤滑を用いたすべり機構を有する構造物は、数値解析などの理論的検討によって十分な地震応答低減効果を発揮し得ることが示されている。しかし、その実地震時の応答性状やすべり面の経年変化などに関しては実験的な検証が進んでおらず、未解明な点が多い。本研究では、黒鉛で潤滑されたすべり面を有する試験体を用いた振動実験によって、上下動の有無が試験体のすべり挙動に及ぼす影響は小さいこと、すべり層に取り付ける復元ゴムが十分な残留すべり変位抑制効果を有すること、ならびに水平二軸加振における上部構造の応答が一軸加振のときよりも概ね小さくなることを確認した。

キーワード：直置き型構造物、振動実験、黒鉛潤滑

1. まえがき

免震構造物は、地震時の人的・物的被害の軽減に対して優れた性能を有する。2011 年の東北地方太平洋沖地震や 2024 年の能登半島地震といった過去の大地震においても免震構造物の効果は実証されており、病院や市庁舎などの様々な重要施設に免震構造が採用されている。しかしながら、戸建て住宅のような比較的小規模の建物については、経済的な観点から免震構造が採用されるケースは少ない。

一方、経済性と高い耐震性能を両立した構造物を実現する技術として、黒鉛潤滑を用いたすべり機構を有する構造物（以下、直置き型構造物）の開発が進んでいる¹⁾。直置き型構造物は、鋼・コンクリート・黒鉛といった一般的な材料を用いて構造物に免震効果を持たせたものであり、積層ゴムなどの免震材料を使用する既存の免震構造物と比較して、安価に免震効果を実現できる。

直置き型構造物は、小地震に対しては耐震構造物として機能する一方、大地震時には黒鉛で潤滑されたすべり面上を滑动することで地震応答低減効果を発揮する¹⁾。また、数値解析などの理論的検討によって、極めて稀に（数百年に一度程度）発生する地震動（以下、L2 地震動）の 2 倍以上の強さの地震動に対しても十分な応答低減効果を発揮し得ることが示されているが²⁾、実地震時

の応答性状やすべり面の経年変化に関しては実験的な検証が進んでいない。そこで本研究では、直置き型構造物の実用化に向けて、黒鉛で潤滑されたすべり面を有する試験体を用いた振動実験を行い、その地震応答性状や応答低減効果などを確認した。本報では、実施した振動実験の概要とその結果について報告する。

2. 直置き型構造物の概要

直置き型構造物は、鋼柱脚を有する上部構造とモルタルによるすべり面の間に黒鉛による皮膜を形成し、流体潤滑状態を実現することで、その摩擦係数を低減したものである。黒鉛は低摩擦を実現する固体潤滑剤として様々な分野で利用されており、高温・高荷重の環境でも化学的に安定で、入手も容易かつ安価な材料である。通常、鋼とモルタルによる接触面の最大静止摩擦係数は 0.80 程度であるが³⁾、黒鉛潤滑を施すことによってその値が 0.20 程度にまで低下し⁴⁾、地震時の応答低減効果が大きくなる。

本研究で実験に使用したすべり面は、図-1 に示すように表面が滑らかに仕上げられたコンクリート床板の上に黒鉛を散布し、試験体を床板上に積載して、黒鉛粒子がコンクリート表面に定着するよう床板上を数度摺動させたものである。

* 技術本部技術研究所建築研究グループ ** 技術本部技術戦略部

3. 振動実験

3.1 実験の概要

本研究では、図-2に示す鋼製の床フレームと柱、および柱脚部分を組み合わせて様々な試験体を作製し、a.～c.の三種類の振動実験を行った。それぞれの試験体を用いた実験について、その概要と目的を下記に示す。

a. 剛試験体による実験

すべり面の面圧依存性を確認するため、試験体に剛接合する鋼製床フレームの数を変化させ、異なる面圧に対する直置き型構造物のすべり挙動の違いを確認した。

b. 1層試験体による実験

1層直置き型構造物の応答低減効果、および上下動の有無による応答の違いを確認するため、X方向の一軸加振とX・Z方向の二軸加振をそれぞれ行い、加振軸ごとの実験結果を比較した。

c. 3層試験体による実験

多層直置き型構造物の応答低減効果、試験体すべり層に取り付ける復元ゴムの残留変位抑制効果、異なる剛性の復元ゴムに対する上部構造応答の違いについて確認するため、実大3層建物の動特性を模擬した試験体を用いて、X・Y方向それぞれの一軸加振とX・Y方向の二軸加振を行った。また、既往の研究⁹⁾では、水平二方向にすべりを伴う構造物は、一方向のみにすべる構造物よりも上部構造の応答が低下することが示されている。直置き型構造物においても同様の効果が期待されることから、この効果を確認するため、一方向加振と二方向加振の結果を加振方向ごとに比較した。

3.2 剛試験体による実験とその結果

a. 試験体の概要と加振条件

鋼製床フレームを剛接合により積み上げた図-3の剛試験体を用いて、すべり面の摩擦係数の面圧依存性を確認した。試験体は鋼製床フレームを積み上げた4層構造となっており、X方向とY方向の長さがそれぞれ2000mmと1000mm、各階床の質量は下側から順に431kg、472kg、517kg、518kgである。また、すべり層の柱脚は図-4に示すように6箇所あり、すべり面との接触面積は1箇所あたり400mm²で計2400mm²である。積層する床フレームの数を1層から4層にすることで試験体の質量を変化させ、すべり面に接する柱脚の平均面圧を1.8～8.1MPaの範囲で調節することができる。

試験体の加振には、周波数1.0Hz、最大加速度300cm/s²、最大速度（以下、PGV）85cm/sの正弦波を用いた。過大なすべり層の変位（以下、すべり変位）を抑制するため、加振方向（X軸）には図-4に示す配置で復元ゴムを取り付けた。図-5にその取り付け状況を示す。試験体には、最も下側にある床フレームの対角2箇所に加速度計を、すべり層の4隅に変位計を2台ずつ、復元ゴムの取り付け箇所（X方向2箇所・Y方向4箇所）

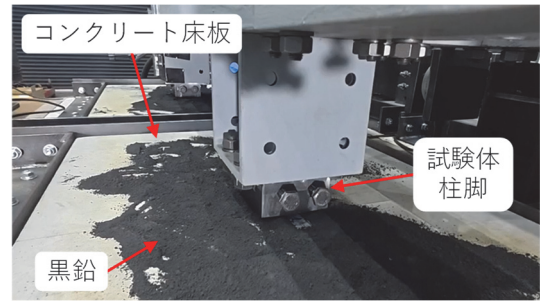


図-1 直置き型構造物のすべり面

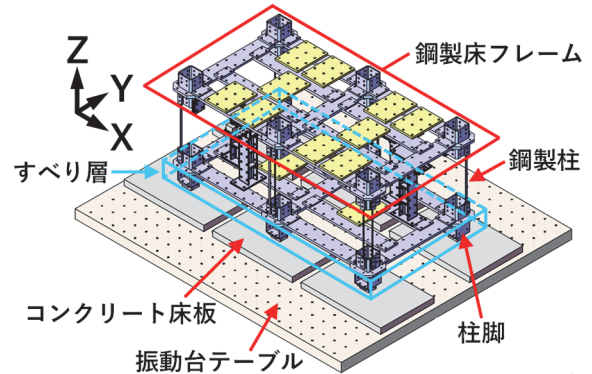


図-2 試験体外観図

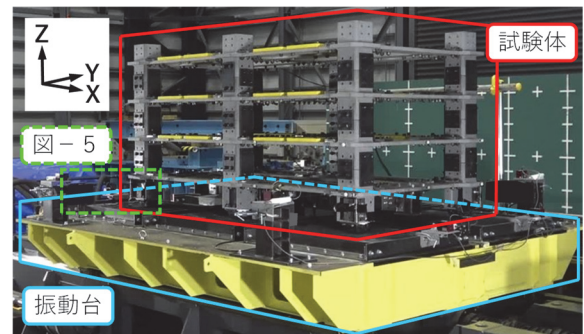


図-3 剛試験体の外観

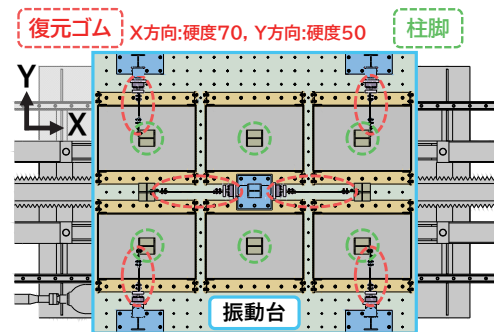


図-4 試験体すべり層平面図



図-5 すべり層に取り付けた復元ゴム

に復元力計測用のロードセルを配置して計測を行った。
すべり面の摩擦係数は、試験体各層の加速度と質量および復元ゴムの負担する復元力から、また、すべり層の速度（以下、すべり速度）は変位計によって計測したすべり変位から算出した。

b. 実験結果

実験で得られたすべり面の摩擦係数－すべり速度関係を図－6に示す。平均面圧 1.8～8.1MPa の範囲では、最大静止摩擦係数は 0.14～0.16 程度、動摩擦係数は 0.09～0.10 程度となり、摩擦係数の面圧依存性が一般的なすべり系支承材に比べて小さく、面圧が小さい場合でも安定したすべり挙動を取ることが確認できた。

3.3 1 層試験体による実験とその結果

a. 試験体の概要と加振条件

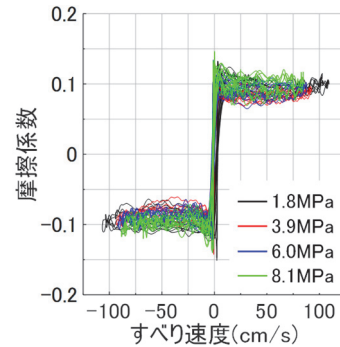
3.2 節の実験で使用した鋼製床フレームの一部を鋼製の柱によって接続し、図－7に示す 1 層の試験体を準備した。1 層試験体は剛試験体と同じ平面形状を有し、すべり層と 1 層目の質量はそれぞれ 502kg、494kg である。0.1～20.0Hz までのランダム波加振を行い、X 方向の 1 次固有振動数が 4.6Hz（一次固有周期 $T=0.22\text{s}$ ）、減衰定数が 0.3%であることを確認した。

すべり層には、図－4に示すように硬度 70 および硬度 50 の復元ゴスを X 方向と Y 方向にそれぞれ取り付けた。取り付け本数は X 方向が 2 本、Y 方向が 4 本である。復元ゴスは、既往の研究²⁾の手順に従って、PGV が 75cm/s の地震動に対して、等価摩擦係数 μ_e で表される最大復元力が 0.10 となるように設計した。この等価摩擦係数は、実験前に想定されていたすべり面の最大静止摩擦係数の 1/2 程度の値である。また、図－7に示すとおり、試験体には加速度計を各層対角 2 箇所、変位計をすべり層の 4 隅と 1 層の対角に 2 台ずつ、復元ゴムの復元力計測用のロードセルを復元ゴム取り付け箇所（X 方向 2 箇所・Y 方向 4 箇所）に配置して計測を行った。

1 層試験体を用いた実験では、X 方向のみの一軸加振と X・Z 方向の二軸加振をそれぞれ行った。入力波には、1995 年の兵庫県南部地震において神戸海洋気象台と JR 鷹取駅で観測された地震波、および 2016 年の熊本地震本震において KiK-net 益城で観測された地震波（以下、神戸波、鷹取波、益城町波と呼ぶ）を用いた^{6) 7)}。それぞれの波について、主軸方向となる X 方向以外は長周期成分を一部カットしている。入力波の詳細と加振方向との対応については表－1に示すとおりである。各入力波の加速度応答スペクトル ($h=5.0\%$) を、第二種地盤における L2 地震動による加速度応答スペクトルと合わせて図－8に示す。

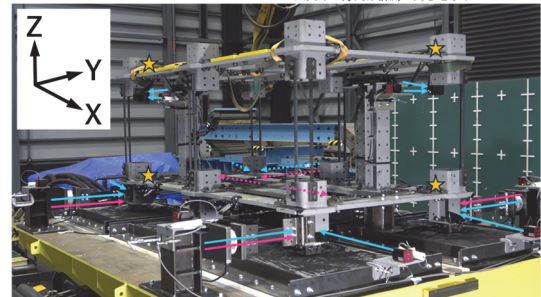
b. 実験結果

神戸波による加振時の上下動の有無による摩擦係数－すべり速度関係の比較を図－9に、1 層試験体と耐震構造物の最大層せん断力係数の比較を表－2に、各加振ケ



図－6 摩擦係数－すべり速度関係

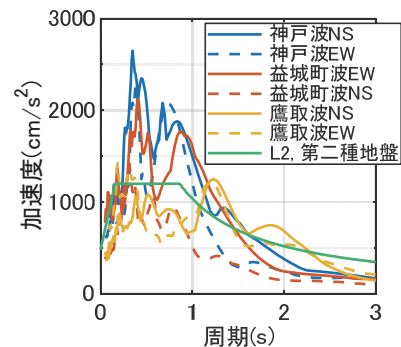
★加速度計3方向 ▲ワイヤ式変位計 ▲ロードセル
※矢印の方向は計測の向きを示す



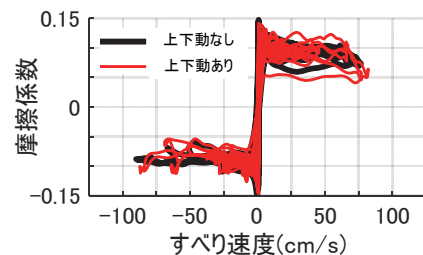
図－7 1 層試験体の外観

表－1 実験に使用した入力波

加振波	振幅倍率	PGV(cm/s)
神戸波 (X:NS)	100%	91
" (Y:EW)	100%	65
" (Z:UD)	100%	40
益城町波 (X:EW)	68%	92
" (Y:NS)	54%	45
" (Z:UD)	54%	25
鷹取波 (X:NS)	60%	74
" (Y:EW)	60%	31
" (Z:UD)	60%	10



図－8 入力波の加速度応答スペクトル ($h=5.0\%$)



図－9 摩擦係数－すべり速度関係の比較
(神戸波 100%)

表－2 1 層試験体と耐震構造物の最大層せん断力係数の比較

加振ケース	加振方向	直置き型構造物			耐震構造物 (X軸成分の加速度応答スペクトルより算出)		
		神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%	神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%
最大層せん断力係数 C_0	X	0.74	0.61	0.41	1.54	1.88	1.82
	X・Z	0.77	0.60	0.43			

ースの実験結果の一覧を表－3に示す。なお、実験結果は全て 30.0Hz のローパスフィルタ（以下、LPF）によって高周波成分をカットしている。表－2より、上下動なしの加振において、直置き型構造物の最大層せん断力係数が耐震構造物の値と比較して、神戸波・益城町波・鷹取波のそれぞれで 52%、68%、78%低減されている。ここで、耐震構造物の最大層せん断力係数は、各入力波の加速度応答スペクトル ($h=0.3\%$) における $T=0.22s$ の値から算出した。この結果から、直置き型構造物の応答低減効果が確認できた。また、上下動による最大層せん断力係数の差は、上下動がない場合に対して、神戸波・益城町波・鷹取波のそれぞれで+4.0%、-0.4%、+4.4%となり、概ね同程度の値であった。

上下動の有無によるすべり挙動への影響については、表－3に示すとおり、最大すべり変位の差が 10mm 以内、最大すべり速度の差が 3cm/s 以内、最大静止摩擦係数はほぼ同程度となり、残留すべり変位の差は 10mm 以内で、全ての加振ケースで設計許容値である 50mm を下回る 20mm 以下となった。なお、残留すべり変位の設計許容値は、免震建物において地震後の残留変位の許容値として設定されることが多い値と同程度に設定している⁸⁾。これらの結果は、3.2 節で示した摩擦係数の面圧依存性の低さと整合するものである。

3.4 3 層試験体による実験とその結果

a. 試験体の概要と加振条件

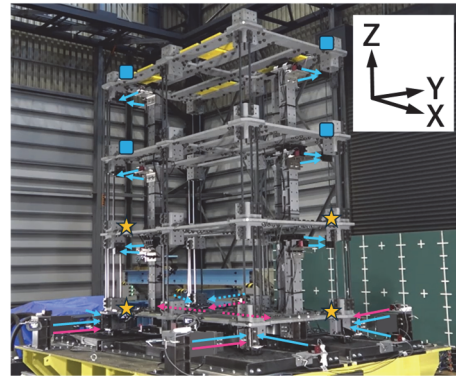
3.3 節の 1 層試験体に鋼製床フレームを 2 層分積層し、図－10 に示す 3 層試験体とした。平面形状は剛試験体と同じで、各階床の質量は下側から順に 502kg、506kg、506kg、494kg、各層の剛性は下層から順に 574 N/mm、494 N/mm、389 N/mm である。また、0.1～20.0Hz までのランダム波加振を行い、試験体の固有振動数は X・Y 方向ともに 1 次から 3 次でそれぞれ 2.2Hz（一次固有周期 $T=0.45s$ ）、6.2Hz、9.5Hz、減衰定数は X 方向が 0.5%、0.3%、0.3%、Y 方向が 0.8%、0.3%、0.3%であることを確認した。

すべり層に取り付ける復元ゴムは、異なる剛性の復元ゴムに対する上部構造応答の違いを確認するため、1 層試験体の場合と同様の方法²⁾で、等価摩擦係数 μ_e がそれぞれ 0.10 と 0.07 になる 2 種類を設計し、使用した。これらの値は、実験前に想定されていたすべり面の最大静止摩擦係数および実験中に計測された最大静止摩擦係数の 1/2 程度となるよう設定している。また、計測については、図－10 に示すように加速度計を各層の対角 2 箇所に、変位計をすべり層の 4 隅と 1～3 層の対角に 2 台

表－3 1 層試験体の実験結果一覧 ($\mu_e=0.10$)

加振ケース	加振方向	神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%
残留すべり変位 (mm)	X	6	7	12
	X・Z	10	16	16
最大すべり変位 (mm)	X	153	253	292
	X・Z	152	259	296
最大すべり速度 (cm/s)	X	91	114	89
	X・Z	88	114	89
最大静止摩擦係数	X	0.15	0.15	0.14
	X・Z	0.15	0.15	0.14

★ 加速度計3方向 ■ 加速度計2方向
 〰️ ワイヤ式変位計 〰️ ロードセル
 ※矢印の方向は計測の向きを示す



図－10 3 層試験体の外観

ずつ、さらに、復元ゴムの復元力計測用のロードセルをすべり層の X 方向 2 箇所と Y 方向 4 箇所に配置した。

3 層試験体を用いた実験では、X・Y 方向それぞれの一軸加振と X・Y 方向の二軸加振を行った。入力波には、表－1 の 3 つの地震波を用いている。

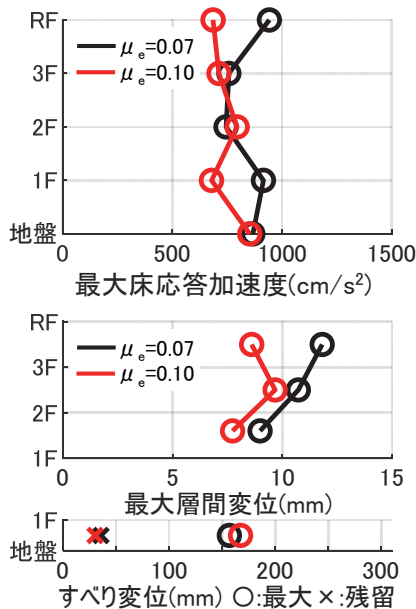
b. 実験結果（水平一軸加振）

$\mu_e = 0.07$ と $\mu_e = 0.10$ それぞれの復元ゴムを取り付けたときの、3 層試験体の神戸波による X 方向一軸加振における最大床応答加速度および最大層間変位、すべり変位を図－11 に、各加振ケースの最大層間変位、最大ベースシア係数、最大および残留すべり変位の一覧を表－4 に示す。なお、実験結果は全て 30.0Hz の LPF によって高周波成分をカットしている。

図－11 に示すとおり、神戸波による加振では各層の最大床応答加速度は 1000cm/s^2 を超えず、屋上床部分の応答加速度は入力加速度の 1.2 倍程度に収まった。他の加振ケースにおいても、各層の最大床応答加速度は 1000cm/s^2 を超えず、屋上床部分の応答加速度は最大で入力加速度の 1.7 倍程度に収まった。また、全ての加振ケースにおいて、上部構造の最大層間変形角が階高 3000mm を想定した場合で 1/200 より小さい値に収まり、表－4 に示すように、最大ベースシア係数は 0.30～0.37 程度となった。L2 地震動を上回る強さの地震動に対し

表－4 3 層試験体の実験結果の比較(X 方向一軸加振、 $\mu_e=0.07, 0.10$)

加振ケース	$\mu_e=0.07$			$\mu_e=0.10$		
	神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%	神戸波100%	益城町波68%	鷹取波60%
最大層間変位 (mm)	12.0 (3層目)	9.9 (3層目)	8.3 (3層目)	9.7 (2層目)	9.9 (2層目)	12.0 (2層目)
最大ベースシア係数 C_0	0.36	0.36	0.30	0.30	0.32	0.37
最大すべり変位 (mm)	157	224	256	168	220	309
残留すべり変位 (mm)	36	8	1	30	5	10

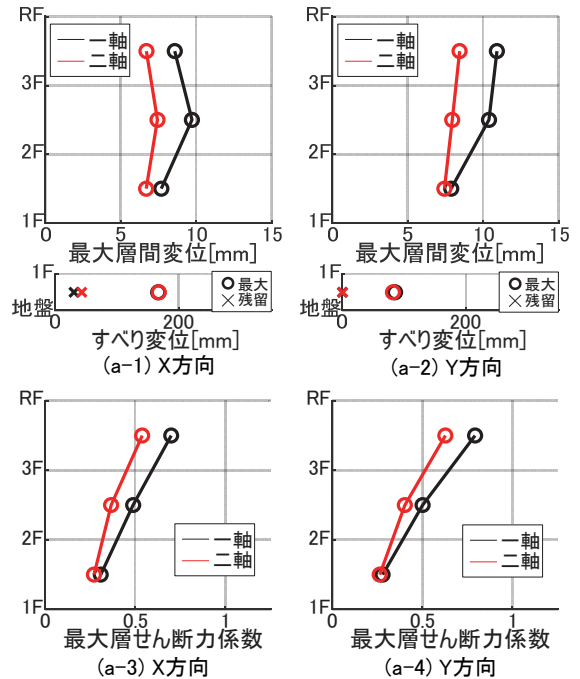
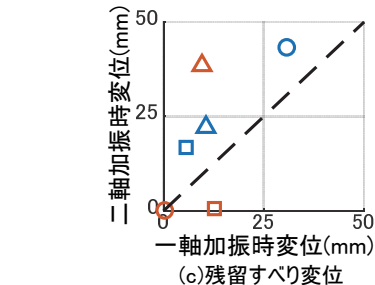
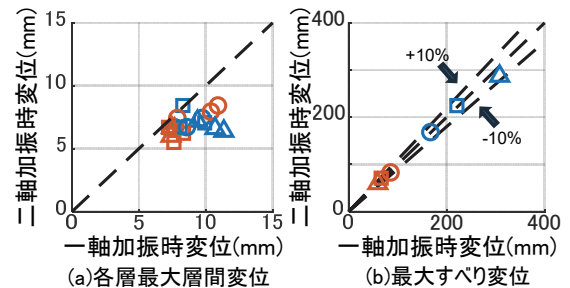
図－11 3 層試験体の実験結果
(X 方向一軸加振、神戸波 100%)

て、実建物の階高を想定した場合に各層の最大層間変形角が 1/200 に満たない値となったことから、3 層試験体においても直置き型構造物の応答低減効果が確認できた。すべり変位については、最大すべり変位・残留すべり変位ともに入力波ごとのばらつきが大きかったものの、全加振ケースで残留すべり変位が設計許容値である 50mm 以下となり、復元ゴムが十分な残留すべり変位抑制効果を有することが確認できた。一方で、復元ゴムの等価摩擦係数 μ_e の違いによる上部構造応答の明確な傾向の差は見られなかった。

c. 実験結果 (水平二軸加振)

X・Y 方向単独一軸加振の結果と水平二軸加振の結果を比較する。各加振は、すべり層に $\mu_e = 0.10$ の復元ゴムを取り付けて行った。神戸波による加振における各軸方向の最大層間変位、最大すべり変位、残留すべり変位および最大層せん断力係数を図－12 に示す。また、図－13 は、3 つの入力波による一軸加振時の最大応答を X 軸に、二軸加振時の最大応答を Y 軸に示したものであり、破線で示した対角線より下側の領域は、二軸加振時の応答が一軸加振時の応答を下回ることを示す。

図－12、図－13 より、最大層間変位と最大層せん断力係数に関しては、二軸加振時の値が一軸加振時の値と比べて概ね小さく、最大で約 4 割程度小さくなった。た

図－12 3 層試験体の実験結果の比較
(X・Y 各方向一軸加振、X・Y 二軸加振、神戸波 100%)図－13 一軸加振と二軸加振の最大変位の比較
○: 神戸波100%(X, Y) □: 益城町波68%(X, Y)
△: 鷹取波60%(X, Y)

だし、その差が小さい場合もあり、二軸加振による応答が一軸加振による応答を必ずしも下回るわけではない。このことは、一軸加振による実験時の上部構造の応答評

価が実地震時に対して概ね安全側になることに加え、二軸加振による効果を考慮しない解析的検討の結果に対して、実地震時の上部構造の応答が小さくなることを示している。また、最大すべり変位に関しては、神戸波、益城町波、鷹取波の全てにおいて、図-13(b)に示すとおり、一軸加振時と二軸加振時の値の差が±10%以内に収まった。一方で、残留すべり変位については図-13(c)に示すように一軸加振と二軸加振の差が顕著に表れたが、復元ゴムを取り付けることで全加振ケースの残留すべり変位が 50mm 以内に収まった。

次に、加振時に計測した復元ゴムの復元力と各層の加速度に基づいて、試験体の摩擦係数を算出した。神戸波による加振時の摩擦係数—すべり速度関係を図-14 に示す。二軸加振時の摩擦係数は、一軸加振時の値と比較して各方向とも 1～2 割程度減少した。二軸加振においては、X 方向と Y 方向の両方に地震力 F_x と F_y が作用し、静止摩擦力はその合力 $|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ となる。そのため、すべり出す摩擦係数が一定であっても、得られた摩擦係数を両方向に分解すると、相対的に摩擦係数が低下することになる。この効果により、二軸加振時の上部構造の応答は一軸加振時より小さくなったと考えられる。

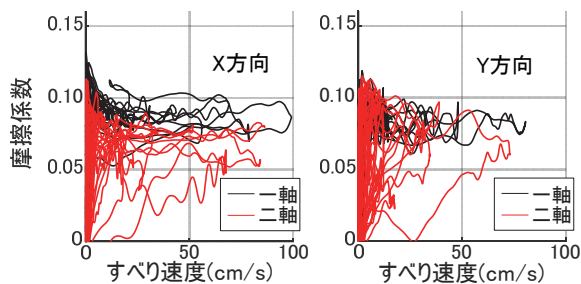


図-14 一軸加振と二軸加振における
摩擦係数—すべり速度関係(神戸波 100%)

4. まとめ

本報では、直置き型構造物の実用化に向けて、剛試験体、1 層試験体、および 3 層試験体を用いた振動実験を行った。実験により得られた、直置き型構造物の地震応答性状と応答低減効果に関する知見を以下に示す。

- i. すべり面に接する試験体柱脚部の平均面圧が 1.8 ～8.1MPa となる範囲では、最大静止摩擦係数および動摩擦係数の面圧依存性は小さい
- ii. 上下動の有無が、直置き型構造物の最大すべり変位、最大すべり速度、すべり面の摩擦係数および上部構造の最大層せん断力係数に及ぼす影響は小さい
- iii. 直置き型構造物は、国内で観測された極めて稀に発生するレベルの地震動に対しても十分な応答低減効果を有する
- iv. 直置き型構造物のすべり層に取り付けた復元ゴム

は、十分な残留変位抑制効果を有する

- v. 水平二軸加振時の 3 層直置き型構造物の応答は、一軸加振時と比較して、上部構造の最大層間変位と最大層せん断力係数が最大で約 4 割小さくなり、最大すべり変位は同程度、すべり面の摩擦係数は一軸加振時と比べて 1～2 割程度小さくなる
- vi. v. の結果は、一軸加振による実験時の上部構造の応答や二軸加振による効果を考慮しない解析的検討の結果と比較して、実地震時の直置き型構造物の応答が小さくなることを示す

【謝辞】

本報の内容は、科学研究費助成事業基盤研究 (A) (24H00344、代表者：榎田竜太) に基づく、(国) 東北大学との共同研究の成果の一部であり、2025 年度および 2026 年度日本建築学会大会学術講演会で発表した「直置き型構造物の強震動に対する地震応答低減効果の実験的検証 (その 1～その 4)」を再構成・加筆したものである。本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) Enokida R., Nagae T., Seismic Damage Reduction of Structural System based on Nontraditional Sliding Interfaces with Graphite Lubrication, *Journal of Earthquake Engineering* 2018, 22(4), 666-686, 2018
- 2) Enokida R., Suppression of residual sliding displacement of flat-sliding structures by cushion stoppers, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150(2021), 106905, 2021
- 3) 榎田竜太、池永晶容、長江拓也、中島正愛、「鋼とモルタルのすべり面をもつ柔・剛構造物の動摩擦特性と地震応答特性」、日本建築学会構造系論文集、No661, pp.527-534, 2011.3
- 4) 榎田竜太、長江拓也、池永晶容、稲美充顕、中島正愛、「黒鉛潤滑を応用した直置き型鋼構造物柱脚の摩擦低減」、日本建築学会構造系論文集、No685, pp.435-444, 2013.3
- 5) S. Mokha et al., Verification of friction model of Teflon bearings under triaxial load, *Journal of Structural Engineering*, 119(1), pp.240-261, 1993
- 6) 防災科学技術研究所 (2019) 防災科研 K-NET・KiK-net, 防災科学技術研究所, <https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>
- 7) 気象庁、強震波形 (平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震), https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/hyogo_nanbu/index.html
- 8) 一般社団法人日本免震構造協会、「免震建物の維持管理基準 2022」、2022

40 年間供用した天然ゴム系積層ゴム支承の経年変化

－別置き積層ゴム支承の調査結果と経年変化予測値の検証－

Aging Characteristics of Natural Rubber Bearings in a Base-Isolated Building after 40 Years of use - Survey Results of a Monitored Specimen and Validation of Long-Term Trend Forecasts for Natural Rubber Bearings -

山上 聡* 舟木秀尊* 洲鎌 星* 安井健治* 小山慶樹**

要 旨

免震構造の設計において、経年による積層ゴム支承の剛性変化は重要な要素である。一方で、設計時に考慮している水平剛性変化率は熱老化試験による予測値であり、実建物で使用されている実証例は少ない。そこで著者らは、実免震建物の竣工 30 年目までの、積層ゴムの水平剛性の経年変化を多角的に調査してきた。本報では、40 年目となる今回の結果を含め、これまでに得られた調査結果を総合的に整理し、建物の調査結果と積層ゴム支承単体での調査結果の整合性について検証した。また、設計時の予測値や既往の予測式を検証し、対象建物における天然ゴム系積層ゴム支承の経年による水平剛性変化率は熱老化試験による予測値と同程度であり、既往の予測式は実測結果に対して安全側の評価となることを確認した。

キーワード：天然ゴム系積層ゴム、経年変化、熱老化試験、予測式

1. はじめに

地震による被害を軽減するために、積層ゴム支承を採用した免震構造がある。免震構造は、構造物を地震の振動から切り離し、構造物自体に大きな力が作用しないようにして、「地震から免れる」という考え方に基いている。近年、積層ゴム支承の研究開発とコンピューター技術の発展による地震応答解析技術の進歩とあいまって、免震構造の実用技術が構築・整備されてきた。

積層ゴム支承には、ゴム材料を用いて長期間建物を支え続ける役割がある。地震時にはそのゴムが、周期 2~4 秒でゴム総厚の 200%程に及ぶせん断変形をすることで、上部構造物の応答を低減する。したがって、免震構造の設計においては、積層ゴム支承の経年による水平剛性の変化は重要な要素である。経年によって水平剛性が増加すると、地震時における上部構造物の応答加速度が増大し、建物の応答特性に影響を及ぼす可能性がある。そこで、積層ゴム支承の実用化にあたっては、水平剛性の経年変化を、ゴムの化学反応速度理論に基づく熱老化試験等により推定した。この試験方法は、ゴム材料としては一般的であるが、実建物において長期に渡り使用し、検証した例はなかった。そのため、実用化初期には、建物に設

置した積層ゴム支承とは別に、別置き積層ゴム支承や縮小試験体、ゴムブロック等をメーカーや建物内で保管し、定期的に性能確認を行っていることが報告されている¹⁾。また、同報告では、積層ゴム支承の経年変化調査に対し、問題点や提案が示され、実免震建物での観測や実大別置き積層ゴム支承での計測が継続的に行われることは、予測法の検証のためにも重要であると述べられている。

日本では、1983 年に積層ゴム支承を用いた免震建物としては日本初となる八千代台免震住宅が完成した。その後、1995 年に発生した兵庫県南部地震を機に免震構造が普及し始め、積層ゴム支承が建築物に適用され始めてから約 40 年が経過した。筆者らは、1986 年に竣工した免震建物を対象として、天然ゴム系積層ゴム支承(以下、NRB)の水平剛性やクリープ特性等に関する追跡調査を継続的に実施している。

その中で、竣工 30 年目には建物を水平載荷し励振させる自由振動実験、静的な加力実験から評価した水平剛性(以下、免震層特性)、および建物から抜き取った NRB(以下、抜取品)の水平剛性を確認し、その経年変化は設計時の熱老化試験による予測値以内であったことを報告した²⁾。本報では、建物外で保管していた別置き NRB、抜取品より得られた水平剛性および免震層特性

* 技術本部技術研究所建築研究グループ ** 技術本部技術戦略部

の整合性を検証するとともに、経年による水平剛性の変化率の予測式と比較し、40 年目の調査結果について報告する。

2. 対象建物と免震装置

対象となる免震建物は、1986 年 9 月に竣工した奥村組技術研究所の管理棟（茨城県つくば市）である。建物外観を写真－1 に、建物概要を表－1 に示す。4 階建の鉄筋コンクリート造で基礎免震構造を採用している。免震装置の配置を図－1 に示す。図中には、免震層特性の調査時の載荷位置と NRB を抜き取った位置も併せて示す。免震装置には NRB を 25 基、鋼棒製ダンパーを 12 基使用している。免震装置概要を図－2 に、積層ゴム支承の諸元を表－2 に示す。NRB のゴム径は直径 500 mm、ゴム層は 7 mm×14 層（総厚=98 mm）、1 次形状係数 $S_1=17.1$ 、2 次形状係数 $S_2=5.1$ である。

3. 免震層特性と採取品、別置き NRB の特性比較

3.1 免震層特性の調査

免震層特性の調査時の載荷状況を写真－2 に示す。写真－2 中の図に示すように、建物の外部に構築した反力体に載荷装置を設置している。静的加力および自由振動実験は南北方向の 1 方向について行う。それぞれの実験では、載荷装置に取り付けている 2 基の油圧ジャッキで建物を南へ最大 10cm 移動させる。静的加力実験はこの移動を 3 回繰り返し、これに要する荷重を計測している。一方、自由振動実験では建物を 10cm 移動させた状態で載荷装置を急速に開放し、建物を励振させ、変位の時刻歴を計測している。

竣工時(1986 年)、2 年目、19 年目、30 年目に実施した自由振動実験から得られた水平変位の時刻歴波形を図－3、静的加力実験から得られた荷重変位関係を図－4 に示す。両実験ともに、せん断ひずみ（積層ゴム支承のせん断変形量をゴム層総厚で除した値、以下、 γ ） $\gamma=100\%$ まで行っている。自由振動時の振幅と周期から算出した水平剛性（以下、剛性）と、静的加力時の割線剛性（当該変位における荷重点と原点を結んだ直線の勾配）を比較したものを図－5 に示す。免震層における自由振動時の動的な剛性と、静的加力時の割線剛性の両算定値は良く整合していた。

3.2 建物から抜き取った NRB の調査

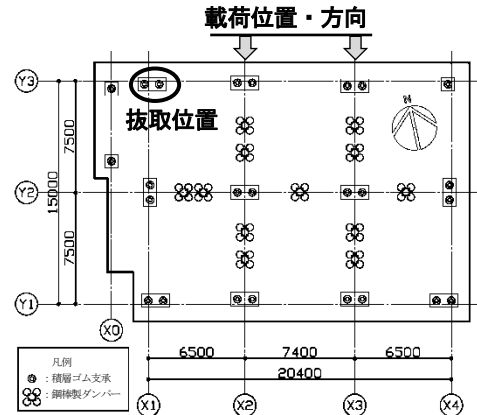
30 年目に、図－1 に示す NRB を建物から 2 基抜き取り、圧縮せん断試験機にて荷重変形関係を確認した。試験機の概要を図－6 に示す。この試験機では、試験機に発生する摩擦力の影響を除去するために NRB を 2 基用いて行うため、結果は 2 基の合計、評価は 2 基の平均となる。実験では、製品検査時に試験データを取ったもの



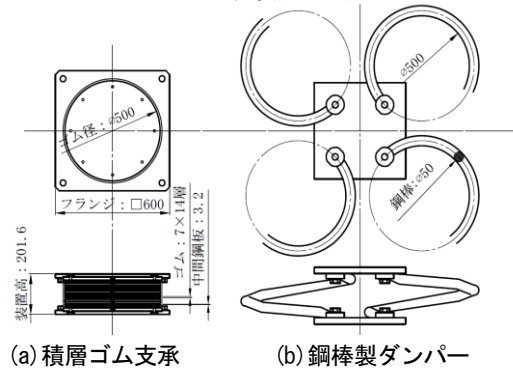
写真－1 建物外観

表－1 建物概要

項目	諸元
竣工年	1986 年
構造	RC 造 4 階 基礎免震
高さ	15.5m
建築面積	348.18m ²
延べ床面積	1,330.1m ²



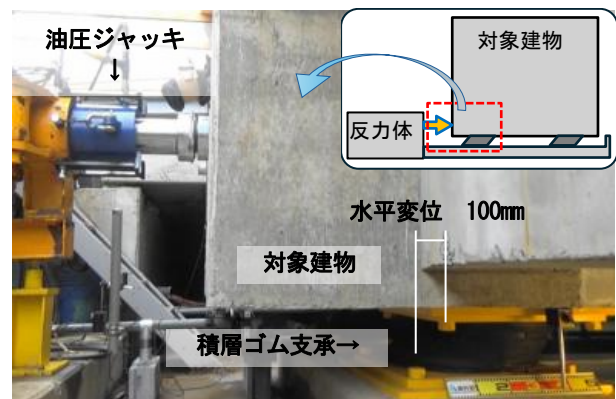
図－1 免震装置の配置 (単位:mm)



図－2 免震装置概要

表－2 積層ゴム支承の諸元

ゴムの特性	材質	天然ゴム
ゴムの特性	硬さ (JISA)	40 $\pm$ 3
	25%応力	0.265 $\pm$ 0.098 N/mm ²
形状	本体ゴム	$\phi 500$ t=7mm 14 層
	形状係数	1 次 $S_1=17.1$ 、2 次 $S_2=5.1$



写真－2 載荷状況

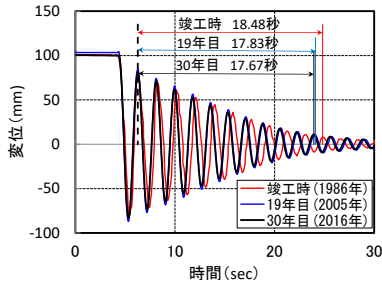


図-3 変位の時刻歴波形

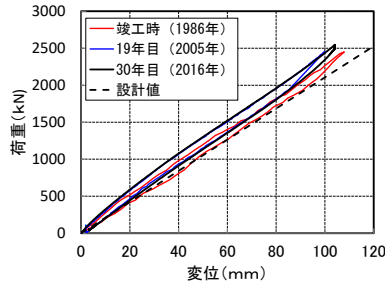


図-4 荷重変位関係

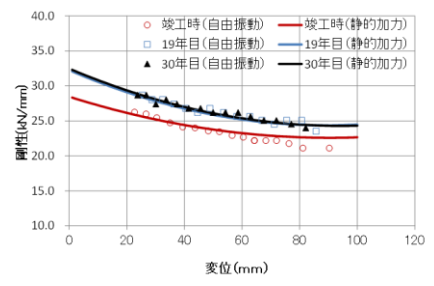


図-5 剛性の比較

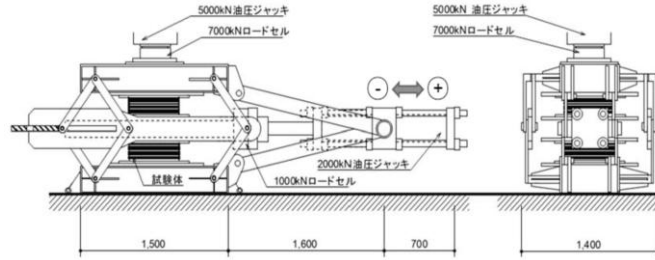


図-6 試験機の概要

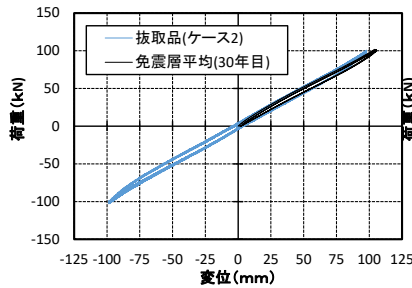
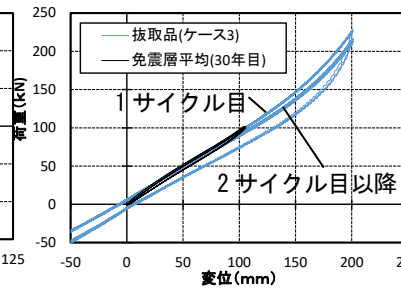

(a) 抜取品 $\gamma = \pm 100\%$

(b) 抜取品 $\gamma = \pm 200\%$

図-7 抜取品と免震層平均の荷重変位関係の比較

表-3 抜取品の試験パラメータ

ケース	面 圧 [N/mm ²]	せん断ひずみ γ [%]
1	4.5	±100
2	6.0	
3		±200

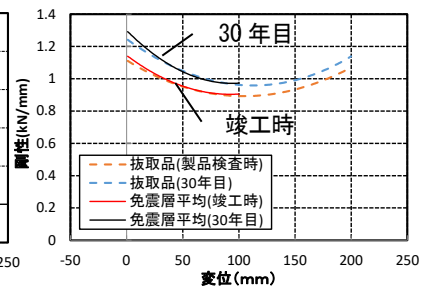


図-8 抜取品と免震層平均の水平剛性の比較

と比較するため、同じ NRB の組み合わせとなるものを建物から抜き取った。試験は表-3に示す 2 つのパラメータについて行った。NRB に付加する単位当たりの鉛直荷重 (以下、面圧) の水準は、実建物での 1 基当たりの平均値の 4.5N/mm^2 と製品検査時の 6.0N/mm^2 とし、せん断ひずみの水準は建物での免震層特性調査時の $\gamma = \pm 100\%$ と製品検査時の $\gamma = \pm 200\%$ とした。ケース 1 が建物に使用されている状態を模した条件、ケース 3 が NRB 製品検査時の条件となる。試験は各ケースのそれぞれのせん断ひずみにおいて 3 サイクル行った。

抜取品と建物の静的加力実験結果の比較を図-7に示す。建物の静的加力実験の結果は、総 NRB 数 25 基で除した平均値 (以下、免震層平均) である。ケース 1、2 における面圧の違いによる影響はほとんど見られなかったため、図-7 (a) にはケース 2 のみ示す。免震層平均の荷重変位関係は、同図に示すように最大せん断ひずみ $\gamma_{\max} = 100\%$ までの抜取品と良好に一致していた。ケース 3 の $\gamma_{\max} = 200\%$ までの抜取品との比較を図-7 (b) に示す。図は免震層での調査結果と比較するためプラス側の結果を示す。免震層平均は、抜取品での繰り返しの影響のない 1 サイクル目と良く一致していた。抜取品と免震層平均の水平剛性の比較を図-8に示す。抜取品はケース 3 における 1 サイクル目を示している。免震層平均と抜取

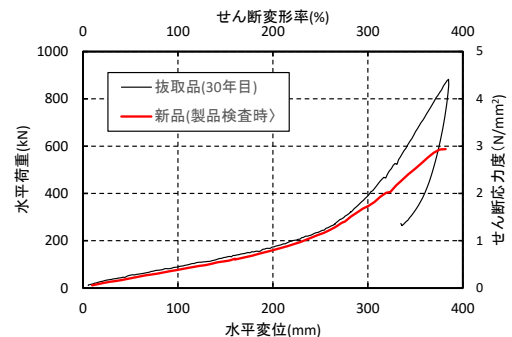


図-9 終局耐力の比較

品の水平剛性とその変化は良好に一致しており、抜取品は建物に設置した NRB の平均的な特性を示すことを確認した。

抜取品については、別の圧縮せん断試験機にてせん断ひずみの限界性能を確認した。製品検査時の限界性能試験において、表-2と同じ型式で面圧 6.0N/mm^2 の試験から得られている荷重変形率関係との比較を図-9に示す。30 年目に抜き取った NRB の試験結果では、 $\gamma = 300\%$ 以降に急激な剛性増大が見られたが、新品時と同等の $\gamma = 370\%$ という変形能力を維持していることが明らかとなった。

3.3 別置き NRB の調査

建物に実使用されている NRB とは別に、建物外に保管した別置き NRB (以下、別置き) の 1986 年 (製品検査

時)、2007 年(21 年目)、2016 年(30 年目)における水平方向の荷重変位関係を図-10 に示す。別置きは 3 体(それぞれ No.2、3、4 とする)あり、それらは免震建物と同じ敷地内の倉庫で保管している。倉庫内は免震層に比べて温度変化は大きい、直射日光は当たらない環境である。

試験は、図-6 に示した試験機を用いて 3 サイクルの繰り返し载荷を行った。また、製品検査時の結果は、実建物に使用している、別置きと同ロットの NRB(NRB-A、B、C)との組み合わせで行った試験の結果である。そのため、直接の比較は出来ないが、製品検査における別置きを含む 3 ケースの平均剛性は 0.79 kN/mm であり、建物に設置したものを含む全平均値と同程度(±0.9%)であった。また、製品検査時および 21 年目は水平変形 ±200 mm ($\gamma = \pm 200\%$) までの試験を行ったが、30 年目は別置きの試験時にゴムに亀裂が生じないよう水平変形 ±150 mm ($\gamma = \pm 150\%$) で試験を行った。なお、図-10 では各荷重変位関係を比較しやすいよう、21 年目を中心に製品検査時を +200kN、30 年目を -200kN、さらに各試験ケースを ±50kN オフセットして示してある。荷重変位関係を比べると、製品検査時および 21 年目は、繰り返し依存性により 2 サイクル目以降の荷重の低下が見られるが、その変化は 21 年目のほうが小さい。また、30 年目は水平変位が短く、2 サイクル目以降の荷重の低下があまり見られない。これは、2 サイクル目以降は経験した最大変形の影響を受けるが、30 年目は 150mm と小さいこと、経年変化の影響により、1 サイクル目と 2 サイクル目の差も小さくなったことが原因と考えられる。

別置きと採取品との荷重変位関係の比較を図-11 に示す。両者の荷重変位関係は概ね一致しており、1 サイクル目より 3 サイクル目のほうが荷重は小さいが、竣工時に対する経年時の傾きの変化(経年変化)は 3 サイクル目のほうが大きい。3 サイクル目の剛性の比較を図-12 に示す。別置きと採取品の各変位における剛性とその変化の傾向は概ね一致しており整合性が確認できた。

以上の検証結果から、免震層平均と採取品、別置きの水平剛性の整合性を確認できた。また、別置きによって実建物に設置された NRB の水平剛性の経年変化を評価できる可能性を確認した。

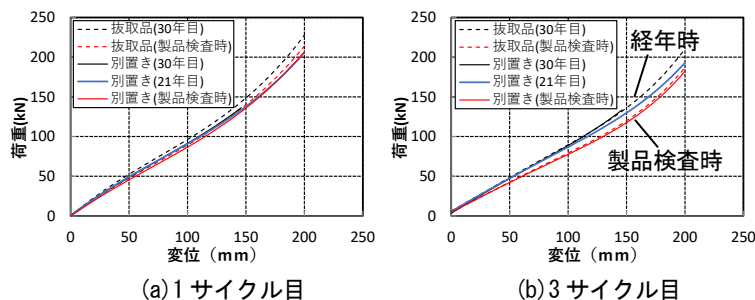


図-11 別置きと採取品の荷重変形関係の比較

4. 経年による剛性変化率の予測値の検証

せん断ひずみ $\gamma = 100\%$ における免震層平均、採取品および別置きの剛性変化率を、設計時の熱老化試験による予測値と比較したものを図-13 に示す。図中に示す熱老化試験①は、NRB の酸化劣化を把握するために、 $\phi 400$ mm の NRB を空气中で加熱し剛性を測定した結果($\gamma_{\max} = 250\%$)、熱老化試験②はゴム材料の温度劣化による特性変化を把握するために、せん断試験片を窒素中で加熱し剛性を評価した結果である。

建物での静的加力実験や自由振動実験の結果に比べ採取品や別置き(NRB 単体)の変化率が大きい理由は、異なる最大せん断ひずみ($\gamma_{\max}$)での繰り返し载荷による影響と考えられる。ゴムの剛性は、経験した最大せん断ひずみの繰り返し载荷により、2 サイクル目以降は低下することが知られている³⁾。3 章に示す各調査では、その最大せん断ひずみが大きいほど 2 サイクル目以降の剛性低下率は大きく、また、経年によりその低下率は小さくなる傾向にあった。そのため、 $\gamma_{\max} = 200\%$ の性能検査を行った採取品や別置きによる NRB 単体の剛性変化率は、試験条件に近い熱老化試験①の結果と同程度であったと考えられる。

積層ゴムの経年による剛性変化に関する主な研究として、伊藤らによるゴム材料の熱老化試験の研究結果⁴⁾をもとに、栗田らが円形の積層ゴムにおける水平剛性経年変化の予測式を提案⁵⁾している。これを基に日本免震

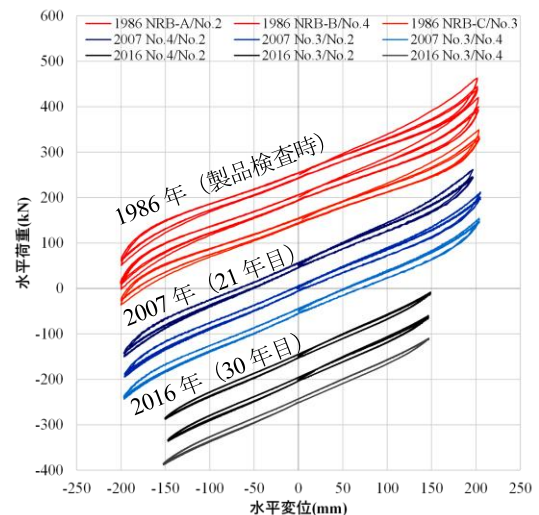


図-10 別置きの荷重変位関係

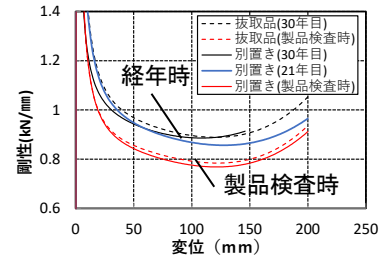


図-12 別置きと採取品の剛性比較(3 サイクル目)

構造協会(以下、JSSI)から提案された予測式(1)⁶⁾を図-13に併せて示す。

$$\frac{K_h}{K_{h0}} \cong 1 + (1 - k_s \rho) \Delta f_i + k_s \rho \Delta f_s \quad (1)$$

ここで、 K_{h0} 、 K_h ：それぞれ経年変化前後の水平剛性
 k_s ：形状、サイズによる剛性変化率
 ρ ：被覆ゴムと酸化深さの係数
 Δf_i ：温度劣化による変化率
 Δf_s ：酸化劣化による変化率

(1)式中、第1項は初期値で1とし、第2項が温度劣化分、第3項が酸化劣化分の足し合わせとなっている。JSSI 予測式の温度劣化分は熱老化試験②と、酸化劣化分は熱老化試験①と同程度あるが、累加することで、剛性変化率が大きく評価される。対象建物の実測値と比較した結果、JSSI 予測式は経年による剛性変化を安全側に評価することを確認した。

5. 40 年目の調査結果

5.1 自由振動実験

対象建物は、2026 年に竣工から 40 年目を迎える。そこで、免震建物の 40 年目の剛性変化を確認するため、自由振動実験による経年変化の調査を実施した。自由振動実験の方法は、3.1 節と同様である。調査はこれまで 9 月に実施してきたが、今回は気温が 9 月にほぼ近い 6 月に実施した。各調査年における自由振動波形の比較を図-14に示す。自由振動実験における 10 波周期は 30 年目(2016 年)より短くなっているが、その間隔は 19 年目から 30 年目よりも大きい。この要因として、31 年目(2017 年)に行った NRB2 基の交換による剛性の変化や、33 年目(2019 年)に行った対象建物の大規模改修工事による建物の重量減少の影響、調査時の気温の影響などが考えられる。30 年目から 40 年目の間に行った自由振動実験の結果を図-15に示す。

経年による水平剛性の変化を評価するには、上記の影響を補正する必要がある。そこで、5.2 節に NRB の交換の影響について、5.3 節に改修工事による影響について考察し、5.4 節にそれぞれの影響を考慮した水平剛性の変化を示す。なお、評価にあたっては振幅の影響が小さくなるように、振幅 80~40mm 程度の範囲の 5 波を用いた。表-4に各計測時における免震層内温度と 5 波の周期、剛性の温度補正係数を示す。剛性の温度補正は、30 年目の調査結果をもとに $-0.2\%/^{\circ}\text{C}$ とし、 25°C を基準とした。

5.2 積層ゴム支承の交換による剛性変化

前述の 3.2 節に示した抜取品と交換した新品 2 基の NRB の荷重変位関係を図-16に示す。交換品の傾きは、抜取った NRB より小さく剛性が低い。30 年目の調査で、 $\gamma=100\%$ までの建物の実験結果と特性が近い 1 サイクル目に着目し、変位 40mm から 80mm における割線剛性の

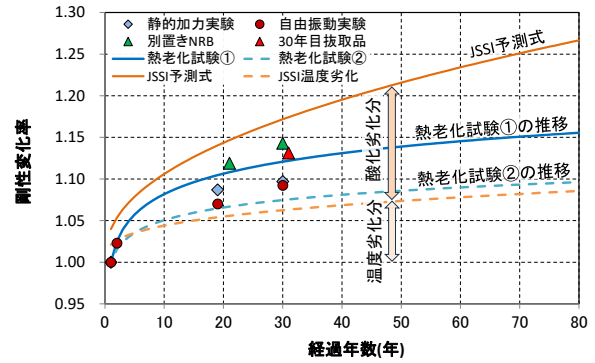


図-13 剛性変化率の実験値と予測値との比較

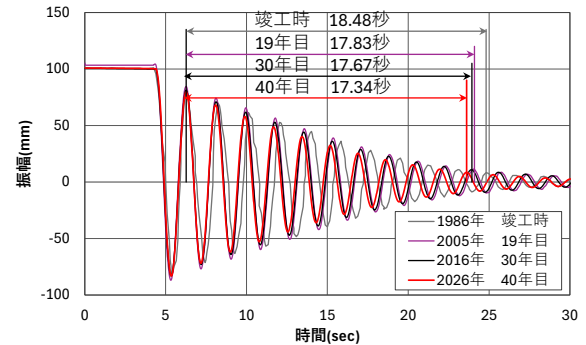


図-14 自由振動波形の比較

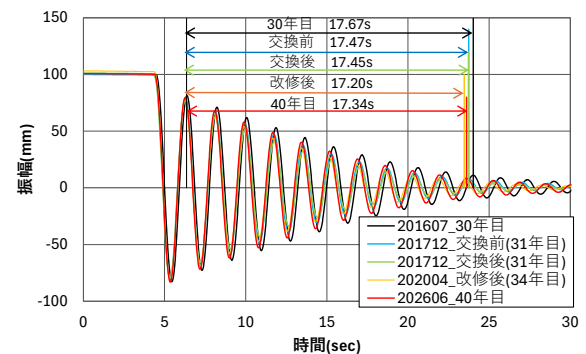
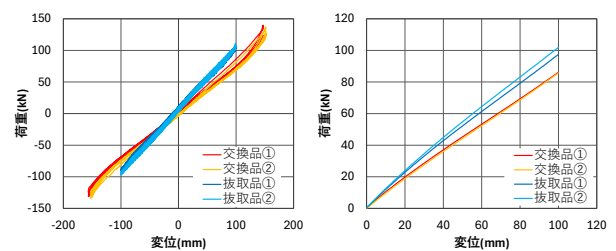


図-15 30 年目から 40 年目の自由振動波形

表-4 5 波の周期と免震層内温度、温度補正係数

調査時期	免震層内温度(°C)	5 波周期(s)	剛性の温度補正係数(25°C)
1986 年 竣工時	25	9.54	1.0
2005 年 19 年目	25	9.09	1.0
2016 年 30 年目	22	9.04	0.994
2017 年 交換前	12	9.00	0.974
2017 年 交換後	11	9.02	0.972
2020 年 改修後	14	8.88	0.978
2026 年 40 年目	22	8.90	0.994



(a) 全サイクル (b) 1 サイクル目

図-16 交換した NRB の荷重変位関係

平均値を比較すると、交換品が 0.88kN/mm に対し、抜取品は 1.05kN/mm であった。抜取品は建物の全体の平均的な特性を示していたことを考慮すると、25 基中 2 基の剛性が 0.84 倍になっており、全体の水平剛性は交換前の 0.987 倍になったことになる。建物を 1 質点系モデルと仮定すると、固有周期は約 1.006 倍に増加すると推定される。

交換前後における自由振動実験の結果を比較した変化率を表-5 に示す。建物における自由振動実験の結果から得られた剛性変化率は 0.994~0.996 で、交換前後の NRB 単体試験より算定した変化率 0.987 より、約 0.8% 小さくなった。

5.3 建物の改修工事による影響

33 年目（2019 年）に行った改修工事では、EV の新設による躯体の一部撤去や太陽光パネルの設置による屋上仕様の変更があったため、設計上の躯体重量が 22,025kN から 21,575kN と、0.980 倍になった。周期は約 0.990 倍に短縮されると推定される。

改修前後における自由振動実験の結果を比較したものを表-6 に示す。自由振動実験の結果から得られた重量変化率は 0.963~0.969 で、設計値から算定した変化率 0.980 より約 1.5% 小さくなった。

5.4 40 年目の剛性変化率

NRB の交換による剛性低下と、建物の改修工事による建物重量の低減を考慮して自由振動実験の周期を補正し、経年による剛性変化率を推定した。図-17(a) に温度影響を非考慮とした場合、図-17(b) に温度影響を考慮した場合を示す。温度影響を非考慮とした場合のほうが剛性変化率は大きく 40 年目では 1.12 倍となる。

剛性変化率が大きい温度影響を非考慮とした場合の 5 波周期を用いて推測した剛性変化率と、熱老化試験による予測値との比較を図-18 に示す。従来の 10 波周期での評価時より変化率は大きい傾向を示した。また、温度が低い時期に自由振動実験を行った NRB 交換後と建物改修後の剛性変化率はやや大きい傾向にある。しかし、経年による剛性変化の推移は熱老化試験による予測値をほぼ下回っており、設計当初の予測の範囲内で推移していることを確認した。

6. まとめ

竣工から 40 年を迎えた免震建物を対象に、これまで行った積層ゴム支承の水平剛性に関する調査結果を、条件変化や新たな知見を考慮し、40 年目と合わせて検証し、次のことがわかった。

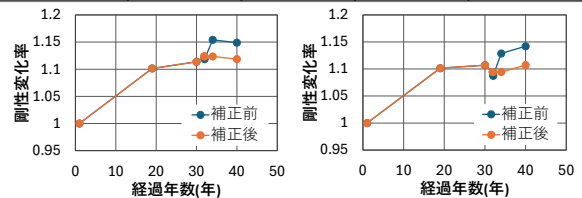
- i. 抜取品と別置きの水平剛性の経年変化は概ね一致し、実建物で使用されている NRB の水平剛性の経年変化は別置き NRB で評価が可能であることを確認した

表-5 交換前後での変化率

温度の影響	5 波周期(s)			剛性変化率
	交換前	交換後	変化率	
非考慮	9.00	9.02	1.002	0.996
考慮	9.12	9.15	1.003	0.994

表-6 改修前後での変化率

温度の影響	5 波周期(s)			重量変化率
	改修前	改修後	変化率	
非考慮	9.02	8.88	0.9845	0.969
考慮	9.15	8.98	0.9815	0.963



(a) 温度影響非考慮 (b) 温度影響考慮

図-17 補正前後の剛性変化率

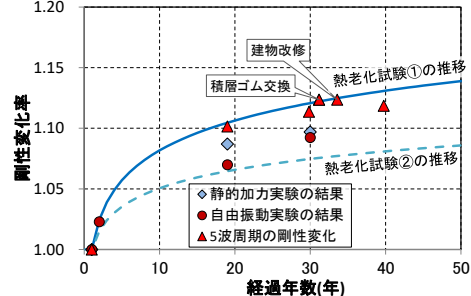


図 18 経年による剛性変化率の推移（温度補正無）

- ii. NRB の水平剛性の経年変化は、40 年経過時点においても設計時の熱老化試験による予測範囲内にあり、NRB の長期耐久性が確認された

なお、40 年目調査結果の詳細については、現在分析を進めている。

【参考文献】

- 森田慶子、高山峯夫、「免震用積層ゴム支承アイソレータの経年変化調査の実態把握」、日本建築学会技術報告集、第 19 巻、第 41 号、pp.31-35、2013
- 山上 聡、安井健治、舟木秀尊、小山慶樹、洲鎌星、三須基規、清水美雪、高山峯夫、森田慶子、「実建物で使用されている天然ゴム系積層ゴムの経年変化に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、第 90 巻、第 836 号、pp.1167-1176、2025
- 森下善広、角田克彦、「架橋ゴムの応力-ひずみ曲線の基礎知識」、日本ゴム協会誌、第 94 巻、第 4 号、2021
- 伊藤義人、佐藤和也、顧 浩声、山本吉久、「橋梁用天然ゴムの長期劣化予測に関する基礎的研究」、土木学会論文集、No.801/I-73、pp.185-196、2005
- 伊丹十夢、栗田 哲、飯山かほり、「中心孔を有する天然ゴム系積層ゴム支承の水平剛性経年変化予測に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、21269、2013
- 積層ゴム別置き試験体の特性調査委員会、JSSI 第 9 回技術報告会

木質ハイブリッド遮音床の開発

ー木造実大試験体を用いた床衝撃音対策の効果検証ー

Development of Wooden-Based Hybrid Floor for Sound Insulation

- Study of Floor Impact Sound Reduction Measures in a Full-Scale Timber Structure Building Specimen -

阪本一生* 稲留康一**

要 旨

木質系床構造の重量床衝撃音遮断性能の向上を目的として、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）と木質材を組み合わせたハイブリッド高剛性パネルを開発した。本パネルの適用イメージとして乾式二重床の上部面材へパネルを挿入した仕様を想定した。実験用の木造実大試験体を用いた床衝撃音の測定結果より、開発したハイブリッド高剛性パネルを用いることで、重量床衝撃音遮断性能が対策前から 4 ランク向上した。加えて、床への衝撃力加振による影響を測定した結果、乾式二重床上部面材の剛性を高めることにより、衝撃力の分散性向上効果を確認した。

キーワード：木質構造、乾式二重床、床衝撃音、衝撃力

1. まえがき

2010 年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が、2021 年に「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の推進に関する法律」へと改正された。これにより、対象が公共建築物から建築物一般に拡大されたことや、環境に配慮した建築物として、建物の構造や外装、内装への木材利用が促進されていることから、民間建築物でも中高層建物の木造化が注目されている。木造の民間建築物が広まることで、集合住宅や小規模オフィスをはじめ、様々な建物用途へも木材利用が普及することになる。そのため、用途によっては RC 造と同等の性能を要求されることがある。

木造建築物は、基本的に低剛性かつ軽量であるため、床衝撃音遮断性能の確保が課題である。さらに近年の木造建築物は在来軸組工法をはじめ、2×4 や CLT といった様々な工法により計画されている。

一方で、CLT 工法では仕様と性能の関係について、対策の方向性がまとめられつつある^{1),2)}など。在来軸組工法については、工法が多様であり、音源側での対策³⁾や、受音室天井側での対策⁴⁾などが報告され、継続的に各社において対策技術の研究が進められている。

今回、筆者らは木造在来軸組工法の重量床衝撃音対策として、乾式二重床下地の高剛性化に着目して、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）と木材によるハイブリッ

ド高剛性パネルを開発し、それらを用いた木造実大試験体において床衝撃音対策への効果を確認した。

2. 高剛性パネルの開発概要

2.1 木質系床構造を対象とした床衝撃音対策の基本的な考え方

一般的な RC 造では、重量床衝撃音対策として床スラブの剛性向上が基本となる。一方、在来軸組工法のように複数の構造部材で構成される工法では、RC スラブのように床を厚くして剛性を高める単純な対策は適用しにくい。加えて、在来軸組工法では、構造上の荷重制約や居室空間への圧迫感などの理由から、床上へのコンクリート打設や、梁・根太・面材の断面拡大による対策には限界がある。また、過度な対策により、本来の木造らしさが損なわれることも懸念される。

例えば、厚さ 200 mm の RC スラブと単位面積当たりの質量を同等とするために必要となる木造床の厚さは、RC の密度が $2,400\text{kg/m}^3$ に対し木材（スギ）は 380kg/m^3 で約 1/6 の密度比となることから、約 1,260 mm となり、現実的な対策にはなり得ない。

また、RC スラブと木造床の曲げ剛性に着目し、曲げ剛性を E （曲げヤング係数） $\times I$ （断面二次モーメント）により算出した場合、RC スラブ厚さを 200 mm として、曲げ剛性は $1.7 \times 10^7 \text{N} \cdot \text{m}^2$ となる。一方、一般的な木造床に用いられる厚さ 24 mm の構造用合板では 1.1×10^4

* 技術本部技術研究所新領域研究グループ ** 技術本部技術戦略部

$\text{N} \cdot \text{m}^2$ となり、RC スラブの約 1/1500 の曲げ剛性にとどまる。

ただし、実際の在来軸組工法の床では、床合板は等間隔の小梁で支持されており、例えば小梁断面 $120 \times 240 \text{ mm}$ を 910 mm ピッチに設置した際の、床構造の曲げ剛性（合板と小梁の EI の和）を計算すると、 $1.5 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ と算出され、合板のみに比べ大幅に剛性が改善する。このことから、在来軸組工法の床構造では、それを支持する梁の剛性が支配的であると考えられる。そこで、図-1に示すように、床加振時の衝撃力を床構造へ局所的に入力するのではなく、高剛性の小梁が受け持つ広い範囲で一体的に変位することで衝撃力を分散させる対策が有効であると考えた。

2.2 高剛性パネルの仕様

床加振時の衝撃力を分散させるため、乾式二重床の下地の高剛性化を検討した。

参考文献5)では、乾式二重床上面の剛性を向上させることで、衝撃力が分散され、床衝撃音の低減効果が得られたと報告されている。このことから、在来軸組工法の床でも、衝撃力を小梁単体に集中させず、複数の小梁が受け持つ範囲へ分散して入力させることが、木質系床構造の重量床衝撃音対策に有効と考えられる。そこで、乾式二重床の下地に適用可能な高剛性パネルの検討を行った。

まず、木質系床構造へ設置することを考慮し、パネルの質量をなるべく増やさずに剛性を高められるよう、軽量で曲げ強度が高い材料を用いることとした。

参考文献6)では、CFRPで補強した集成材（AFRW）を開発している。H形鋼をスギ集成材で置き換えた場合、約2.3倍の梁せいが必要で、単位当たり1.04倍の重量となるのに対し、AFRWで置き換えた場合、約1.11～1.31倍の梁せい、0.47～0.72倍の重量で、H形鋼と同等の曲げ剛性を確保できる点に着目した。この技術を参考に、軽量かつ高剛性を有するパネルの開発を進めた。

開発パネルを写真-1に示す。高剛性パネルは、高い曲げ強度の特性を持つCFRPをシート状に成型したものを芯材に用いて、上下に合板を張り合わせた高剛性ラミナ2枚を、さらに合板の上下に張り合わせ、プレス接着して製作した。

開発の過程では、軽量で断面二次モーメントを高めることを目的として、図-2に示す開発パネル②のように、CFRPを中空角パイプ状に成型したものを、心材に用いてパネル化した仕様でも検討した。

開発パネル①（CFRPシート状）と開発パネル②（CFRP中空角パイプ状）の2仕様により、曲げ試験を実施し、得られた曲げヤング係数実測値を用いて、曲げ剛性を計算すると、それぞれ $7.7 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ 、 $6.7 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ となり、同パネルを木質材のみに置き換えた際の曲げ剛性予測値 $2.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ に対して約3倍、一般乾

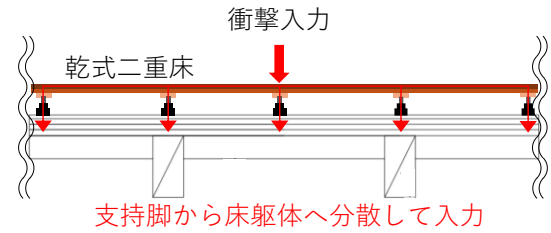


図-1 乾式二重床による床躯体への分散入力イメージ

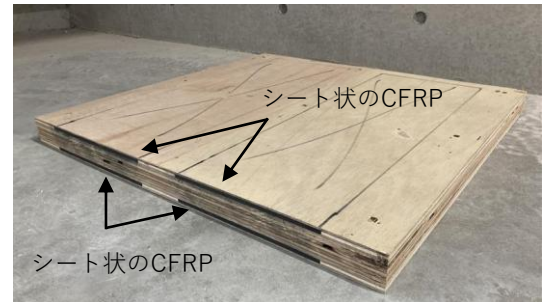


写真-1 ハイブリッド高剛性パネル

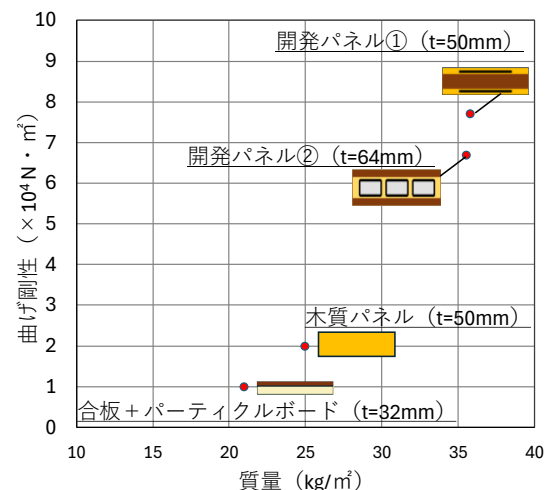


図-2 ハイブリッド高剛性パネル断面構成

式二重床の面材に用いられる合板 12 mm 厚+パーティクルボード 20 mm 厚の曲げ剛性計算値 $1.0 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ に対して約7～8倍の剛性向上が得られる結果となった。また、開発パネル①と開発パネル②を比較すると、パネル①の方が曲げ剛性が高く、実際に試験体の製作を通して、木材の加工手間が少なかったことや、床パネルの仕上げ精度が高かったことから、パネル①を採用して検討することとした。

開発パネルの形状及び質量は、本パネルを用いた作業時の施工性や実現場での小運搬を考慮し、開発パネル寸法は $600 \times 600 \text{ mm}$ 厚さ 50 mm 、質量は1パネル約 12 kg とした。

3. 乾式二重床における衝撃力測定

3.1 実験概要

開発パネルを用いた乾式二重床の支持脚から床構造躯体への衝撃力の入力特性の影響に着目した測定を行った。

試験体の平面図を図-3に、3種の乾式二重床断面を図-4に示す。仕様①は、標準的な乾式二重床仕様とし、支持脚上の上部面材の構成を、20 mm 厚のパーティクルボード+12 mm 厚の合板とし、接続方法はビス止めとした。仕様②は、仕様①の上面に 12 mm 厚の合板をさらに増張りした。仕様③は、仕様①のパーティクルボード上に 50 mm 厚の開発パネル+12 mm 厚の合板×2 枚をビス止めした仕様の3種とした。各二重床の支持脚ゴムは硬度 65° とし、支持脚は一般的な配置である 625×455 mm 間隔とした。

図-3に示す測定点10点（F1～F10）に対し、防振支持脚ゴムと RC スラブの間に設置したロードセルにより、床加振時に二重床から床躯体へ入力する衝撃力を測定した。また、測定点以外の脚下には高さ調整用としてロードセルと同サイズの鋼製スペーサを設置した。測定断面、測定状況を写真-2に示す。

加振点は図-3に示す床中央の脚上と脚間の計2点とし、加振源は JIS A 1418-2 の衝撃力特性 (2) を有するボールを用いて高さ 1m から自由落下させて加振した。測定結果は3回分の加振により得られた衝撃力の平均値を用いた。

3.2 実験結果

各仕様について、試験体脚下のロードセルで測定した衝撃力波形を図-5に示す。仕様①の結果から、加振点直下の測定点 F1 では、ピークが 585N の衝撃力を受けているのに対し、仕様②では合板を増張りしたことによりピークが 525N となり、仕様①と比較して 60N (約 10%) の低減効果が得られた。仕様③では開発パネル+合板により、ピークが 202N と仕様①から 383N (約 65%) 低減した結果が得られた。

また、衝撃力の入力時間を見ると、仕様①および仕様②では端部側の測定点（F4、8～10）が加振点周囲の測定点より遅れて応答したのに対し、仕様③では同位相ではないものの応答に連続性があり、試験体の一体性向上による効果が表れたものと考えられる。

したがって、仕様③に比べて乾式二重床上部面材の剛性が小さい仕様①および②では、加振により変形が生じ、加振点直下の支持脚に衝撃力が集中したが、仕様③では面材の一体性向上による衝撃力の分散効果を確認できた。

図-6に、脚間を加振した際の各測定点における衝撃力測定結果を示す。各仕様とも脚上加振に比べて衝撃力のピーク値は低いものの、仕様①および仕様②では、脚間を加振したことにより、加振点近傍の測定点2点（F1、

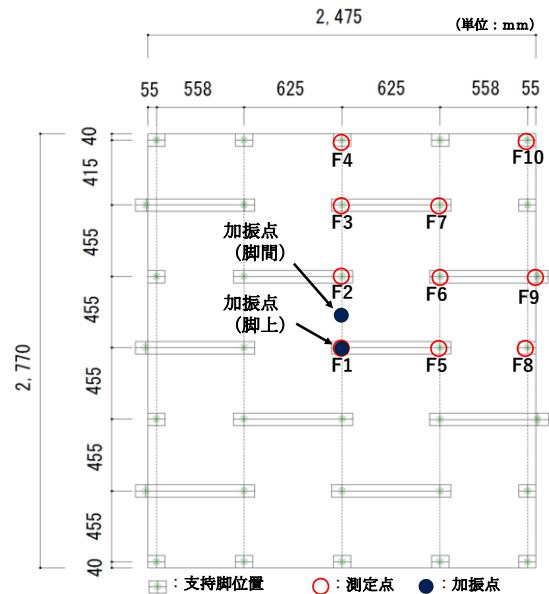


図-3 乾式二重床の試験体平面図および測定点

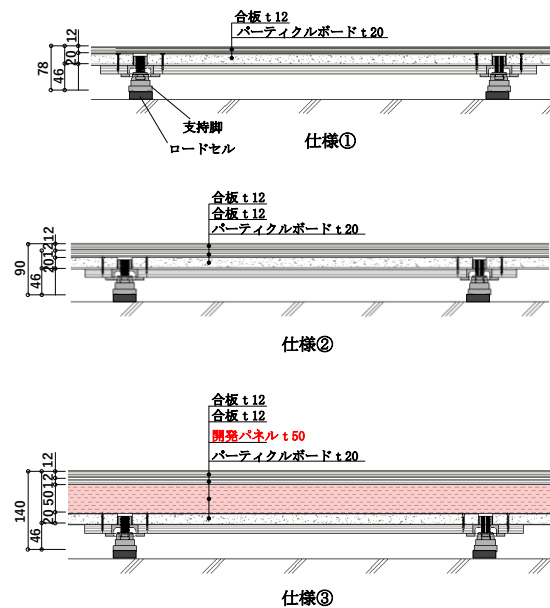


図-4 乾式二重床の試験体断面

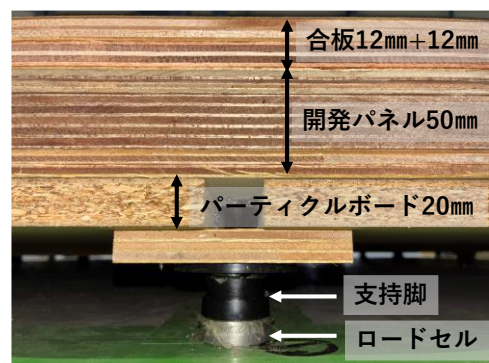
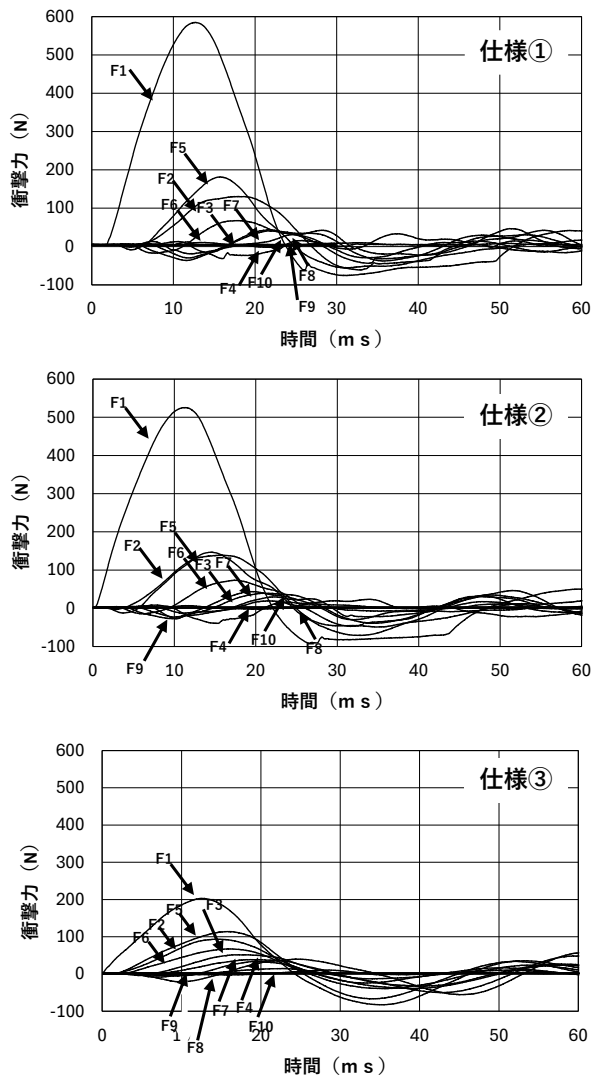


写真-2 測定断面



図－5 衝撃力測定結果（脚上加振）

F2) の衝撃力合計値がそれぞれ 578N、453N となり、図－5 に示した測定点 F1 の衝撃力ピーク値 585N、525N と同程度であった。これは、脚上加振時と同様に、加振点近傍へ衝撃力が集中したことを示している。

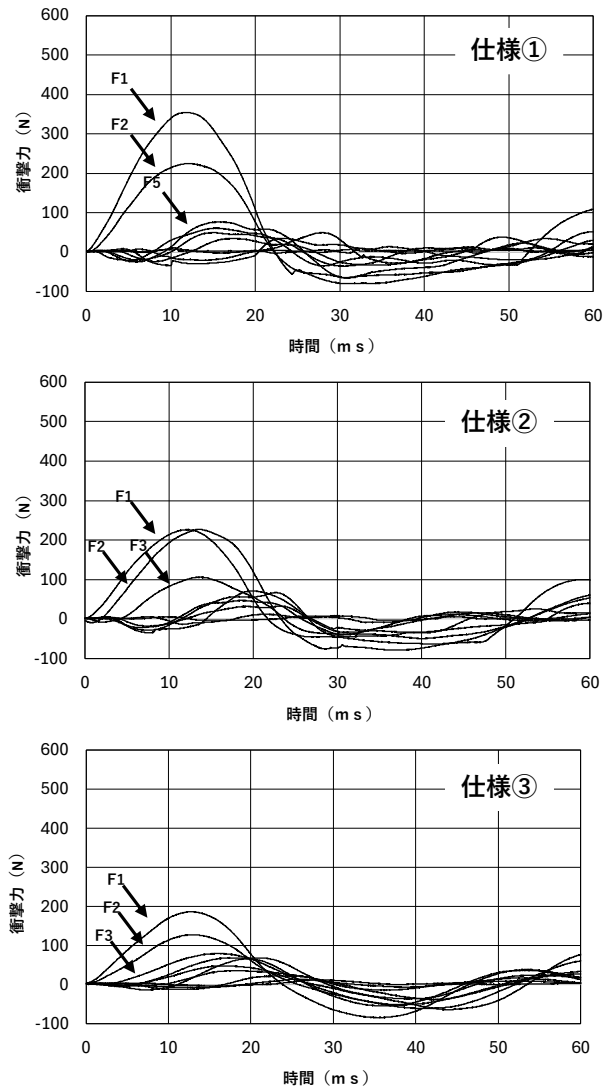
以上より、乾式二重床の下地に開発パネルを用いることで面材の一体性が向上し、加振時には面材の一定範囲が同位相で振動して、衝撃力が各支持脚へ分散したと推測できる。また、一般乾式二重床（仕様①、仕様②）と比較して、加振点直下の応答衝撃力応答値が大きく低減した。

4. 木造実大試験体を用いた重量床衝撃音測定

4.1 木造実大試験体の概要

実験対象建物の構造は木造在来軸組工法とし、建物用途は共同住宅（寮）を想定して平面・断面形状を計画した。

図－7 に実験建物の梁伏せ図、図－8 に床断面詳細を示す。測定対象室の壁内寸法は 3400×2900 mm で床面積



図－6 衝撃力測定結果（脚間加振）

約 10 m² とした。2 階部分の基本床構造は、実建物を想定し、大梁（180×240@364mm、L=3460mm）間に 3 本の小梁（120×240@910mm、L=3005mm）を配した在来床とした。床仕様は構造用合板 24mm+強化せつこうボード 21mm×2 枚+構造用合板 15mm の 1 時間耐火を想定した仕様とした。

天井の詳細について図－8 に併せて示す。天井は、大梁間の天井吊木（45×150@303mm、L=3005mm）を介して設置し、床からの振動伝搬をなるべく抑えた構造とした。天井ボードは強化せつこうボード 21mm+25mm の 2 枚張りの 1 時間耐火仕様とした。施工時の天井構造見上げ状況を写真－3 に示す。

4.2 重量床衝撃音測定方法

床衝撃音レベルの測定は、JIS A 1418-2 に準じて、表－1 に示す仕様 A～C の 3 仕様に対して実施した。加振源には標準重量衝撃源の 2 種類（タイヤ、ボール）を用いた。加振点は、図－7 に示す 5 点（P1～P5）とし、その直下に位置する 5 点（S1～S5）を受音点として騒音計により測定した。

表－１ 床試験体仕様一覧

仕様	床下地	床構造	小梁	天井吊木	天井構造
A	なし	合板15+強化せこうボード 21+21+合板24mm	120×240 @910mm、 L=3005mm	45×150@303mm、 L=3005mm (大梁間)	強化せこうボード 25+21mm
B	フローリング+合板12+ パーティクルボード20mm				
C (開発 仕様)	フローリング+合板12+開発パネル50+ パーティクルボード20mm				

4.3 測定結果

床衝撃音の測定結果として、仕様 A～C の相対比較を図－9 に示す。タイヤ加振時の測定結果より、一般乾式二重床を設置した仕様 B では、対策前の仕様 A の結果と比較すると、63Hz 帯域で約 8dB の低減効果が得られたことから、木質系床構造への乾式二重床設置による対策は有効であることが分かった。

また、開発パネルを用いた乾式二重床を設置した仕様 C では、仕様 A の結果と比較すると 63Hz 帯域で 22dB の低減効果が得られた。

ボール加振時の結果を見ると、63Hz 帯域の低減効果はタイヤ加振による効果と同程度となり、加振源による影響は見られなかった。

今後は、乾式二重床支持脚から床構造へ伝搬される衝撃力の伝搬メカニズムについて検討し、支持脚と床小梁等の配置関係による影響を整理したい。

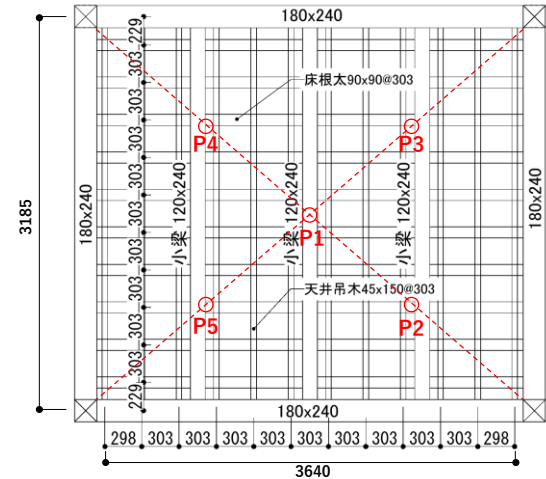
4.4 重量床衝撃音測定点の高さの影響検討

参考文献 7) では、筆者らが室空間の高さ方向における床衝撃音レベルのばらつきに着目して、受音点の設定方法を検討し、適切な受音位置の配置例を示している。また、木造を対象に、受音点高さが床衝撃音へ及ぼす影響に関する報告 8) も見られるが、実建物での測定検証事例はまだ少ない。そこで、本報で用いた木造実大実験建物の測定データを用いて、室空間内の高さ方向における床衝撃音レベルのばらつきについて検討した。

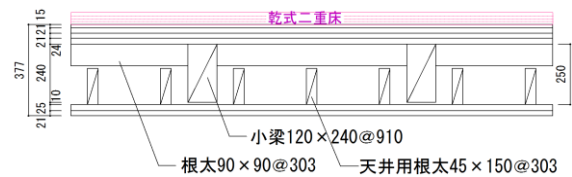
測定方法は、受音点高さによる測定値のばらつきを確認するため、床仕様 A をタイヤで加振した際の受音点 5 点に対して、床面から高さ 600mm～2100mm の 300mm ピッチに測定点を取り、高さ方向を計 6 点とし、合計 30 点で測定した。各加振点を加振した際の周波数帯域別に全受音点の測定値をエネルギー平均した値を基準値として、それより各測定値を減じた値を相対音圧レベルとして算出した。

各測定高さにおける相対音圧レベルを図－10 に示す。測定結果を見ると、63Hz 帯域や 125Hz 帯域でばらつきが大きく、高さ別にみると、1.2m、1.5m 付近でマイナス側に大きくなる傾向が見られた。特に、赤枠で示す S1 の室中央の 63Hz 帯域の測定値においては、測定高さ 1.2m、1.5m では-10dB 程度、それ以外の測定高さでも-5dB 以上となった。

以上の結果より、参考文献 7) の検討結果と同様に、居



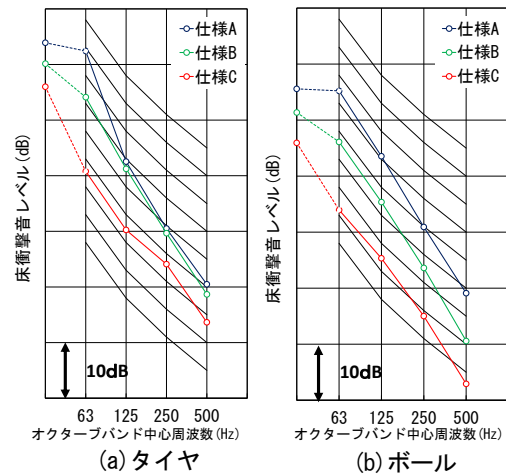
図－7 梁伏せ図および測定点



図－8 床断面図（天井詳細図）



写真－3 天井見上げ



図－9 床衝撃音測定結果

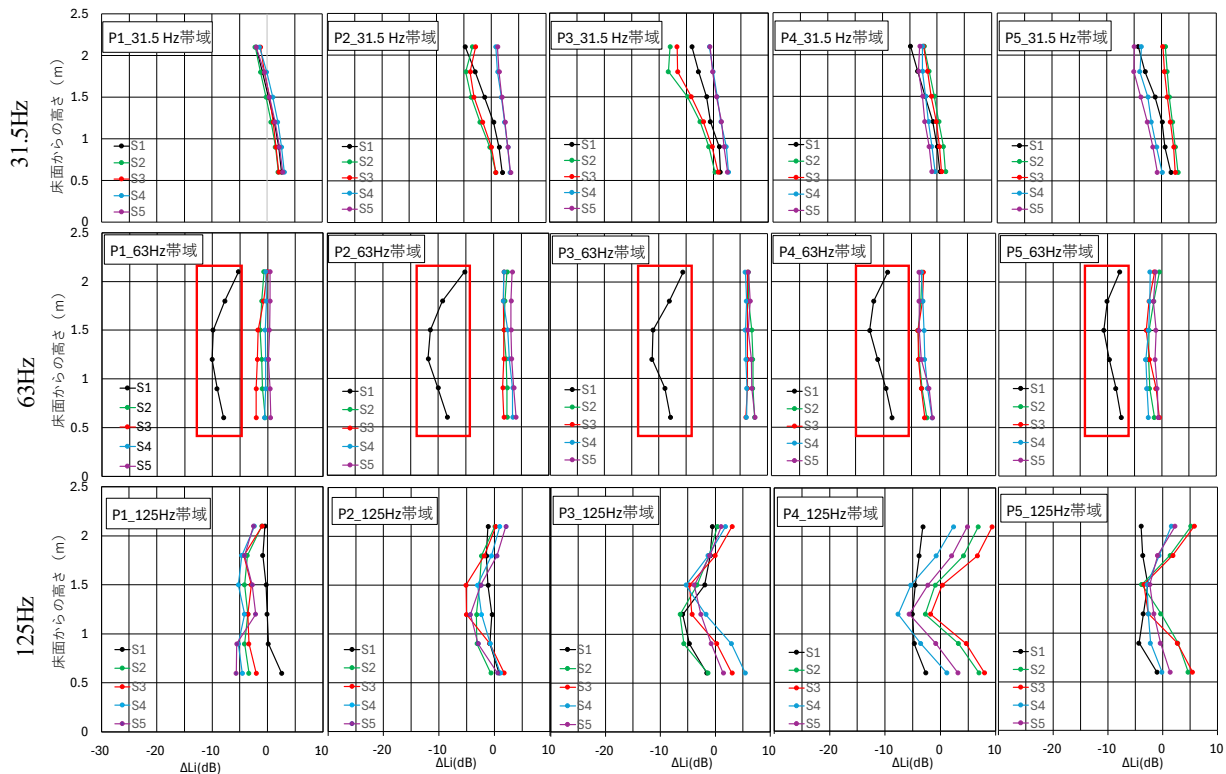


図-10 各測定高さによる相対音圧レベル

室で特異点となりやすい室中央位置については、モードによりレベルが低下する高さを外して室空間にランダムに測定点を配置することで、受音室の特性によるばらつきを含まない測定値が得られた。

今後は、乾式二重床の設置の有無による下室の固有モードへの影響の検討を行いたい。

5. まとめ

開発したハイブリッド高剛性パネルを乾式二重床の下地に使用して重量床衝撃音遮断性能を実験的に検証した。

乾式二重床を加振した際の支持脚への衝撃力分布特性の測定や、木造実大試験体へ開発パネルを用いた乾式二重床を適用し、重量床衝撃音レベルの低減効果について測定を実施した。その結果、以下のことが確認できた。

- i. 開発パネルを用いて面材の剛性を高めることで、床躯体への衝撃力の分散効果が向上する
- ii. 木質系床構造に対する重量床衝撃音対策として乾式二重床は有効であるが、標準仕様では対策前から 8dB (1~2 ランク) の性能向上にとどまる
- iii. 乾式二重床へ開発パネルを用いることで、木造実大試験体を対象に重量床衝撃音遮断性能が対策前から 22dB (4 ランク) 向上した

今後は、木造実建物に対して、本開発パネルを用いた乾式二重床を適用し、効果を確認する予定である。なお、本研究は帝人(株)との共同研究の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省、「CLT 床の重量床衝撃音対策に関する基準整備に関する検討」、令和 6 年度 建築基準整備促進事業(調査事項 M12) 成果報告、2025.5
- 2) 廣田誠一、「枠組壁工法床の重量床衝撃音遮断性能の向上と評価に関する研究」、北海学園大学 博士論文、2016.3
- 3) 林 幸輝、富高 隆、河原塚透、田中ひかり、「木造軸組床構造を対象とした床衝撃音に関する研究(その 1 低床型二重床適用による性能の向上)」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.285-286、2024.8
- 4) 小堺裕司、平松友孝、富高 隆、田中ひかり、増田 潔、「木造建物の床衝撃音対策に関する実験的検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.349-350、2022.9
- 5) 柳沼勝夫、井上勝夫、富田隆太、中澤真司、佐藤伸俊、「乾式二重床の剛性変化及び設置場所の変化が床衝撃音に与える影響」日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.53-54、2005.9
- 6) 長瀬論司、野口昌宏、「CFRP で強化した集成材の力学特性に関する実験的研究」、日本建築学会構造工學論文集、Vol.65B、2019.3
- 7) 稲留康一、田野正典、山本耕三、中澤真司、漆戸幸雄、「受音室内における床衝撃音レベル分布と測定位置の検討例」、日本騒音制御工学会論文集、pp.35-38、2002.4
- 8) 堀尾貞治、滝川宇志、「木造実験棟における重量床衝撃音遮断性能の受音点高さの違いによる影響」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.229-230、2025.7

奥村組技術研究年報 No.52 2026 について

本冊子に掲載した論文の本文は、弊社ホームページ技術研究所サイトからご覧ください。

<https://www.okumuragumi.co.jp/technology/tri/>

奥村組 年報 2026

 検索

奥村組技術研究年報 No. 52

2026年10月1日発行

編集発行 株式会社奥村組 技術本部技術研究所

〒300-2612 茨城県つくば市大砂387

電話 (029) 865-1521(代)

印刷 (株)イセブ

電話 (029) 851-2515

(禁無断転載)



本誌は環境保護のため
再生紙を使用しております。