

モルタル吹付けによる既存耐震壁補強工法の 施工実験と既存建物への適用

Construction Experiment and Practical Application of Seismic Retrofitting Method using Spray Mortar for Existing Shear Walls

岸本 剛* 河野政典* 服部晃三** 古田英之**

要 旨

モルタル吹付けによる既存耐震壁の壁厚を増す耐震補強工法を開発した。本工法は、コンクリートを打ち込む代わりにポリマーセメントモルタルの吹付けにより壁厚を増す工法で、ポンプ車と生コン車、型枠を使わないので、省スペースでの施工が可能である。加えて、あと施工アンカーを用いる代わりにエポキシ樹脂の接着で既存躯体と一体化する方法を採用しているため、あと施工アンカー打込みの騒音や振動を低減できるので建物を使用しながら耐震補強工事が可能である。今回、吹付け時の施工性、および吹付け後硬化したポリマーセメントモルタルの圧縮強度の特性と管理方法を実大施工実験により確認し、実建物の耐震補強工事へ適用した。

キーワード：耐震補強、ポリマーセメントモルタル、吹付け、省スペース、低騒音低振動

1. まえがき

近年、地球環境保護への関心が高まるなか、少子・高齢化、人口減少の到来を背景に、建築物のあり方としてスクラップアンドビルドから既存建物ストック活用へと志向が移りつつある。耐震補強に関する動向については、1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に、耐震改修促進法が制定され、耐震改修の重要性が見直された。その後、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震においては、耐震補強された建物に大きな被害が生じることなく、耐震補強の有効性が実証された¹⁾。さらに、2013年には耐震改修促進法が改正され、既存不適格建物の耐震性向上の取り組みが促進されることにより、今後、補強工事の増加が見込まれる。

耐震性能が不足する既存建物の耐震補強として、新たに壁を増設する工法が一般的に用いられている²⁾。壁の増設には、オープンフレームに耐震壁を新設する方法（増設壁）や、既存の耐震壁の壁厚を増す方法（増打ち壁）がある。動線や採光等を確保するために補強位置が限定され、増設壁を設置できない場合は、増打ち壁が採用される。増打ち壁による耐震補強では、通常、現場打ちコンクリートにより既存耐震壁の壁厚を増すが、コンクリートの打込みに伴う騒音、打込み現場におけるコンクリートポンプ車や配管に必要な広い施工スペース、および型枠設置の工事期間の確保が問題となる。また、増

打ち壁と既存躯体の一体化を図るため、通常、あと施工アンカーが用いられるが、あと施工アンカー工事には騒音や振動が伴うため、建物を使用しながらの耐震補強工事は難しく、建物使用者の一時的な移転が必要となる場合もある。

そこで、増打ち壁を既存躯体とエポキシ樹脂で接着接合する方法を採用し、コンクリートを打ち込む代わりにポリマーセメントモルタル（以下、「PCM」）の吹付けにより増打ち壁を構築する工法（以下、「本工法」）を開発し、既報^{3), 4)}にて構造的な性能および設計方法を報告した。今回、本工法を実建物の耐震補強工事に適用するにあたり、既存耐震壁にPCM吹付け時の施工性や、吹付け施工されたPCMの圧縮強度等の強度特性と管理方法を確認するため、実大スケールでの吹付け施工実験を実施した。本報では、施工実験と実建物の耐震補強工事への適用事例について報告する。

2. 工法概要と施工手順

2.1 工法概要

本工法の概要を図-1に示す。本工法では、増打ち壁を既存躯体とエポキシ樹脂で接着接合する（以下、「接着工法」）。なお、従来のあと施工アンカーにより接合する（以下、「あと施工アンカー工法」）ことも可能である。

*技術研究所 **西日本支社建築設計部

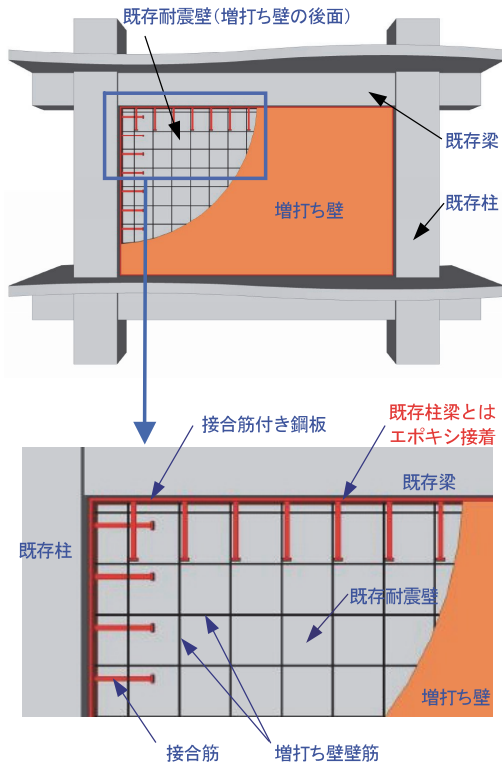


図-1 工法概要

本工法の特長には、

- i. 補強対象が既存壁の存在する位置なのでオープンフレームに壁を新設する場合に比べ建物の機能性を損なわない
- ii. モルタルに高強度材料を使用するため現場打ちコンクリートに比べ壁厚を薄くできる
- iii. 既存躯体と接着接合するため、あと施工アンカー工事の必要がなくなり騒音や振動を低減できる
- iv. 省スペースでの施工（ポンプ車不要）、工期短縮（型枠不要）が可能となる

が挙げられる。

2.2 施工手順

本工法の施工手順を図-2に示す。接着工法と従来のあと施工アンカー工法の違いは、既存柱梁と増打ち壁の接合方法の違いのみで、その他は同じである。

a. 準備工事

既存コンクリート表面に仕上げ材（塗料、タイル、ボード類等）が施されている場合は、仕上げ材を撤去し、コンクリートを露出させる。接着材等が付着している場合にはグラインダー等により除去する。

コンクリートにより既存耐震壁を増厚する工法の場合、既存躯体と新設コンクリートの一体性を高めるため、既存コンクリートの目荒らしを行うが、本工法では付着性に優れているPCMを用いるため目荒らしは不要である。

b. 接合筋付き鋼板の取付け工事

工場で接合筋を溶接した鋼板を、増打ち壁周囲の既存躯体にエポキシ樹脂にて接着接合する。

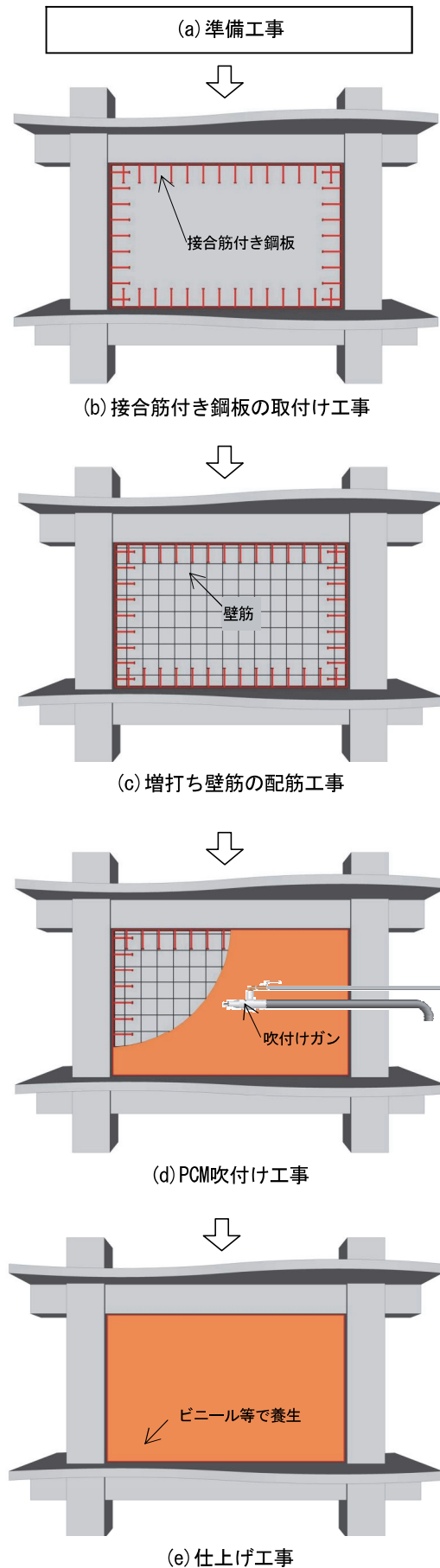


図-2 施工手順

c. 増打ち壁筋の配筋工事

壁筋の配筋作業は従来の方法と同様である。通常、既存躯体との接合部分に割裂防止筋を設置するが、本工法においては不要^{3), 4)}である。

d. PCM吹付け工事

構造実験および施工実験により、耐震補強工事に適用できるPCMを選定した。選定された材料は4種で、設計強度は36 N/mm²、および40N/mm²である。設計基準強度のほか、1回の吹付け厚さや圧送距離等の施工条件により材料を使い分ける。

また、各材料に応じた練り混ぜ方法、吹付け機器を用いて吹付け施工を行う。

e. 仕上げ工事

表面を左官仕上げ後、乾燥ひび割れを防止するため、ビニール等で養生する。

3. 施工実験

3.1 実験概要

実験目的は、本工法に用いるPCMの施工性、強度管理方法、強度特性を確認することである。

本工法に用いるPCMには、施工性として吹付け時に自重で垂れないこと、および鉄筋裏へ密実に充填できることが要求される。また、強度管理として練り混ぜ時、吹付け時の圧縮強度の管理方法を定める必要がある。一方、本工法では、既存耐震壁と増打ち壁のせん断耐力を単純累加する設計法⁴⁾を提案しているため、強度特性として吹付け施工したPCMの圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比を確認する必要がある。

施工実験での確認項目を表-1に、試験体の概要を表-2に、PCM練り混ぜ状況を写真-1に、吹付け施工状況を写真-2に示す。

表-1 施工実験での確認項目

	確認項目
施工性	自重で垂れない回の吹付け厚さ 1回で壁厚を吹き付けることができない場合の壁厚方向の分割方法(層分け)
	PCMの鉄筋裏への充填性
強度管理	PCMの増打ち壁の圧縮強度の管理方法
強度特性	圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比等の物性値

表-2 施工実験試験体の概要

吹付け材 PCM		市販品 4種 [A, B, C, D]*	
増打ち壁	壁厚	160mm	
	配筋	材料 A, C, D	D10@200 (ダブル)
		材料 B	D10@200 (シングル)
	接合筋	材料 A, C, D	D13@200 (ダブル)
材料 B		D13@200 (シングル)	
		ただし、あと施工アンカー	
	割裂防止筋	φ100-D6@50	

*材料特徴 圧送可能距離：材料A, Bは30m程度、C, Dは30m以上

試験体の壁厚、壁筋、接合筋は構造実験⁴⁾の結果を元に決定した。なお、施工実験ではPCMの施工性や強度特性の確認が目的のため、接合筋付き鋼板による既存躯体との接着接合ではなく、接合筋と同径、同ピッチのあと施工アンカーにより接合した。また、鉄筋の裏側の充填性を確認する上で条件が悪い過密配筋を再現するため、本工法では不要な割裂防止筋を配置した。

まず、各材料に応じた練り混ぜ水量、およびフレッシュ管理値でモルタルを練り上げ、吹き付けた。材料によっては1回の吹付け厚さが異なり、厚くすると材料が自重で垂れてくる懸念された。材料A, C, Dは



写真-1 PCM練り混ぜ状況



写真-2 吹付け施工状況



<左官仕上げ>

写真-3 仕上げ状況

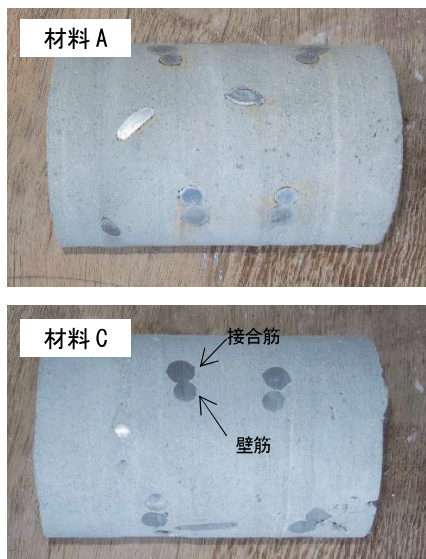


写真-4 PCM充填状況の一例

1回で壁厚160mmを吹き付けることが不可能なため、壁厚方向に3層に分け、吹き付けることとした。各層はダブル配筋の各鉄筋を覆う厚さまでとした。すなわち、1層目はダブル配筋の1列目の鉄筋を覆う厚さ60~70mm、2層目は2列目の鉄筋を覆う厚さ60~70mm、3層目は仕上げ吹きとして厚さ約30mmとした。なお、材料Bは1回で200mm以上吹付けが可能な材料であるため、1回で160mmを吹き付けた。吹付け後、左官仕上げを行い、その後、乾燥を防ぐため表面をマスキングシートで覆った。仕上げ状況を写真-3に示す。

3.2 施工性能

選択したPCMは吹付け施工時に既存耐震壁より垂れることなく、今回実施した層分けの方法で施工可能であることが分かった。

また、PCM硬化後にその充填性を確認するため、配筋が過密な位置からコアを採取した。コアのPCM充填状況の一例を写真-4に示す。有害となる空隙は確認されなかった。

3.3 強度特性

a. 圧縮強度と管理方法

ミキサ練り直後の試料と圧送ホースのノズル先から採取した吹付け試料、およびコア供試体の強度試験結果の一例を図-3に示す。ノズル先から採取した試料は、ミキサから直接採取した供試体よりも圧縮強度が大きい傾向にあった。また、いずれの材料においてもコア供試体の強度は、ノズル先から採取した供試体と同等以上の強度であった。そのため、本工法では強度管理をノズル先から採取したPCMにより行うこととした。

図-4に、ノズル先から採取した吹付け試料供試体の現場封緘28日強度を示す。材料Aは40 N/mm²以上、材料B~Dは50 N/mm²以上であった。これらの結果から、各材料の設計基準強度として、材料Aは36N/mm²、

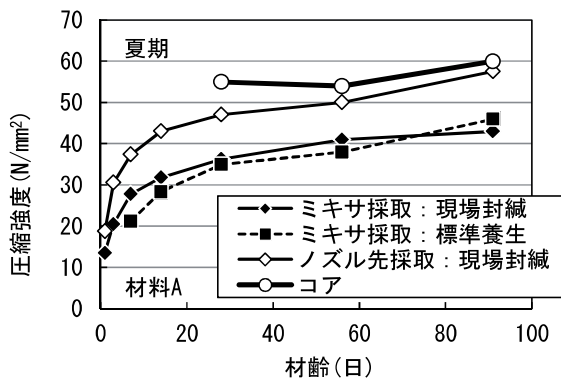


図-3 圧縮強度試験結果の一例

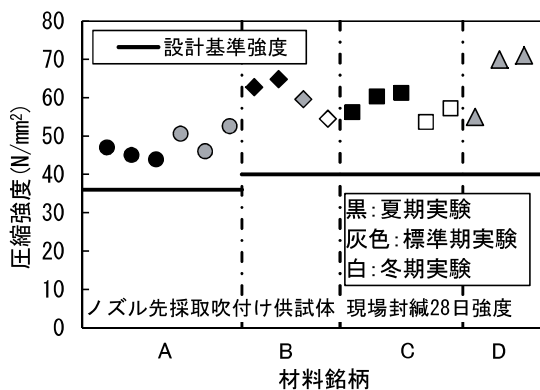


図-4 各材料の現場封緘28日強度

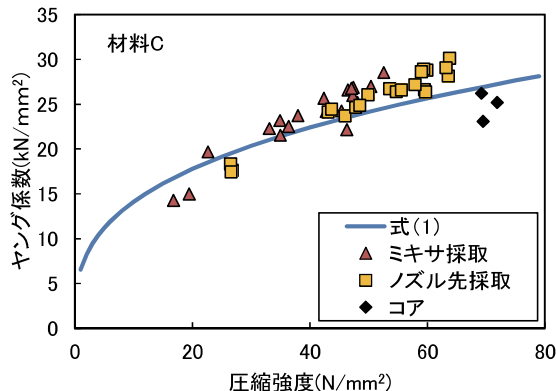


図-5 圧縮強度とヤング係数の関係

材料B~Dは40N/mm²とした。

b. ヤング係数とポアソン比

材料Cの圧縮強度とヤング係数の関係の試験結果の一例を図-5に示す。同図にはRC規準⁵⁾によるコンクリートのヤング係数の計算式(1)による値を併せて示す。この結果から、PCMのヤング係数もコンクリートに準じて推定できることを確認した。

$$E = 33500 \cdot \left(\frac{\gamma}{2.4}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_B}{60}\right)^{1/3} \quad (1)$$

ここに、 E : ヤング係数 (N/mm^2)
 γ : モルタルの単位容積質量 (t/m^3)
 σ_B : モルタルの圧縮強度 (N/mm^2)

また、図-6に PCM の圧縮強度とポアソン比の関係を示す。ミキサ採取とノズル先採取とも、ポアソン比は概ね 0.2 であることを確認した。

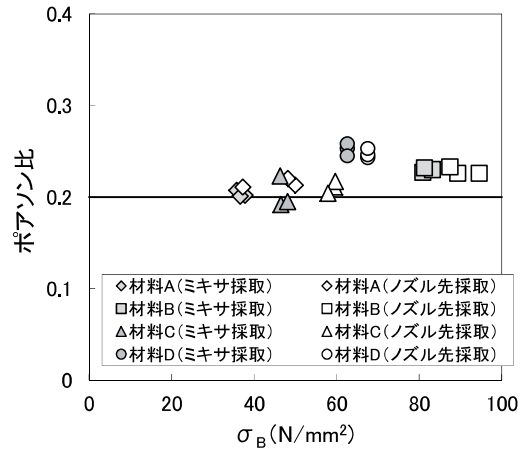


図-6 圧縮強度とポアソン比の関係

4. 適用耐震補強工事

4.1 建物概要と補強増打ち壁の概要

本工法を適用した建物の概要、および耐震補強概要を表-3に、本工法による補強位置を図-7に示す。本建物では、あと施工アンカーが既存躯体中の鉄骨フランジに干渉し、必要な埋め込み長さが確保できないため、増打ち壁補強 18 構面のうち、2 構面に本工法を適用した。

補強増打ち壁の概要を表-4に示す。設計基準強度が $36N/mm^2$ 、圧送距離が 30m 以内であることから、図-4に示す材料 A を選定した。

4.2 施工状況

吹付け施工の準備工事として、既存躯体の仕上げ材撤去後、壁面にクラックが確認されたため、樹脂注入により補修を行った。接合筋の取付け状況を写真-5、6に、配筋状況を写真-7に示す。あらかじめ工場において接合筋を長さ 1.2~2.0m の鋼板に所定ピッチで溶接し、その鋼板をエポキシ樹脂を用いて既存躯体に接着した。また、吹付け施工に先立ち、使用する PCM の試験練りを行い、練り混ぜ水量を決定した。フレッシュと圧縮強度の試験結果を表-5に示す。今回採用した PCM については施工実験と同様に、コンクリート用スランブコーンの 1/2 の寸法のスランブコーンによるミニスランブ試験により管理した。

吹付け施工状況を写真-8に示す。壁厚 100mm でシングル配筋であったため、2 層に分けて吹き付けた。1 層目の吹付け厚さは、鉄筋を覆う厚さの約 70mm、2 層目は仕上げ吹きとして厚さ約 30mm 吹き付けた。

吹付け後、左官仕上げを行い、その後、乾燥を防ぐた

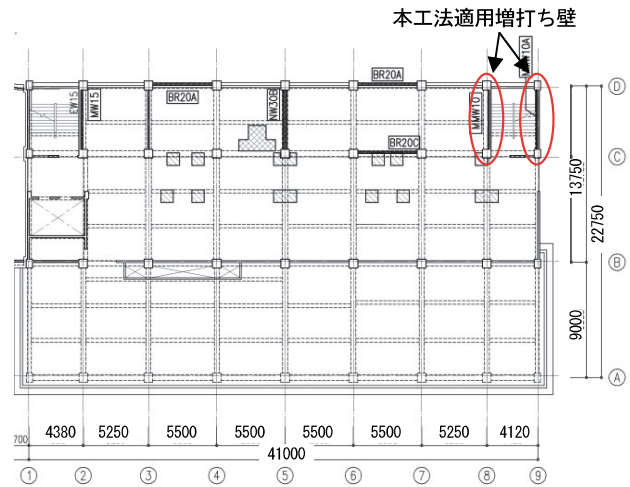


図-7 本工法適用階の平面図



<接合筋付き鋼板>

写真-5 接合筋の鋼板への取付け状況

建物用途	病院から集合住宅へ用途変更
延床面積	6219.195m ²
建物規模	地上 8 階、地下 1 階 (8×3 スパン)
構造種別	鉄骨鉄筋コンクリート造
竣工年	1981 年

<耐震補強概要>

桁行方向：鉄骨ブレース補強、および耐震スリット
 梁間方向：増設耐震壁補強
 新設耐震壁 11 構面、
 増打ち壁 18 構面のうち、本工法適用 2 構面

表-4 補強増打ち壁の概要

設計基準強度	36N/mm ²	
増打ち壁	壁厚	100mm
	配筋	D10@150 シングル
	接合筋	D16@200 シングル
PCM 吹付け総量	2.2m ³	

表-5 フレッシュと圧縮強度の試験結果

	管理値	1日目		2日目	
ミニスランプ (mm)	15~45	33	45	37	42
練り上がり温度(°C)	10~35	31	28	28	28
圧縮強度* (N/mm ²)	36	50.8		50.4	

*ノズル先採取試料現場封緘材齢28日



写真-6 接合筋付き鋼板の取付け完了状況



写真-7 配筋状況



写真-8 吹付け施工状況



写真-9 仕上げ状況

め、表面のマスキング養生を行った。仕上げ状況を写真-9に示す。

圧縮強度の管理は、ノズル先から採取した吹付け試料による現場封緘の供試体を用い28日で実施した。圧縮強度の試験結果を表-5に併せて示す。これにより、管理強度である36N/mm²を上回ることを確認した。

5. まとめ

本工法を実際の建物の補強に適用できることを以下のことから確認した。

- i. 壁厚方向に層分けする施工方法で、PCMが自重で垂れるのを防止できる
- ii. 吹付け施工したPCMには有害となる空隙は見られず、密実に充填できる
- iii. 吹き付けたPCMのコア供試体の強度は、ノズル先から採取した供試体と同等以上の強度を有しており、ノズル先の強度で管理できる
- iv. PCMのヤング係数はコンクリートに準じ評価でき、ポアソン比は0.2として設計できる

6. あとがき

本工法は、その特長から従来の施工が困難な場合においても対応可能であることから、適用場面は増えていくことが予想される。今後も耐震改修促進に貢献していきたい。

【参考文献】

- 1) 例えば、高橋香菜子、Hamood AL-WASHALI、前田匡樹、「2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県内のRC造校舎の耐震性能と被害傾向の検討と被害事例」、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No2、2012.5
- 2) 日本建築防災協会、「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修指針・同解説」、2001
- 3) 岸本 剛、河野政典、山上 聡、服部晃三、平松一夫、「モルタル吹き付けによる既存耐震壁の耐震補強工法の開発」、奥村組技術研究年報 No.39、2013
- 4) 岸本 剛、河野政典、服部晃三、山口敏和、秋竹壮哉、「モルタル吹き付けによる既存耐震壁の耐震補強工法の拡充」、奥村組技術研究年報 No.41、2015
- 5) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート計算規準・同解説」、2010