

27. 大規模免震レトロフィットへ適用した機械化・情報化施工事例

大林組 技術研究所 ○池田 雄一
同 特殊工法部 坂井 利光
同 東京建築事業部 谷口 英武

1. はじめに

官庁施設は、地震災害時において、災害応急対策や救難・救護の活動拠点として機能することが求められている。経済産業省総合庁舎別館においては、耐震診断の結果、防災拠点として必要とされる耐震性能を満足していないことが明らかになったため、耐震改修工法の技術的検討および工法の選定が進められた。その結果、改修後の耐震性能および執務機能、工事費、工期、施工性などを総合的に評価して、基礎下免震工法が採用されることとなった。多くの耐震改修工事（レトロフィット）で採用されている基礎下免震構法は、耐震壁や鉄骨ブレースなどの増設が基本的に不要であるため、執務機能は改修工事前とほとんど変わらない利点がある。本報では、大規模な建物を対象とした免震レトロフィットにおいて、各種機械化・情報化施工を適用した事例について得られた知見を報告する。

2. 工事概要と施工条件

2. 1 工事概要

建物を使用しながらレトロフィットを進め、執務空間内での工事を一切伴わないという基本方針で耐震改修工法の選定が行われ、基礎下免震構法が採用された。対象建物は図-1のように竣工後 35 年以上が経過した地上 11 階建て、3 スパン×17 スパンの延床面積が約 6 万 m² の大規模なビルであり、地下掘削深さが非常に深いという特徴がある。深礎杭の負担軸力は、場所によって 20MN を越えるため、国内最大級の免震装置を使用し、免震装置の最大重量は 49kN を越える。

2. 2 施工手順と施工条件

地下が深い建物に基礎下免震構法を採用する場合、基礎下の掘削深さをできるだけ抑え、施工全体費用の縮減を図る設計手法が一般的である。一方、建物下の作業空間を高く確保できれば、大型の建設機械を使用

できるため、免震レトロフィットの施工効率は大きく向上する。これらの相反する条件を考慮した設計がなされ、免震装置を設置する段階での作業高さは 2.5m となった。その高さは、深礎杭解体・解体ガラ搬出や免震装置の運搬・設置作業において、小型の建設機械が稼働するための最低限の作業高さである。また、地下への資材の荷降ろしおよび解体ガラ搬出用の開口を建物の妻面に限定して設置したため、地下作業空間での水平運搬距離は最大 70m に達した。

建物を使用しながら深礎杭の解体工事を行うため、構造体へ与える振動レベルを抑え、かつ、低騒音タイプの解体工法を選択しなければならない。また、コンクリートの解体数量が 2,000m³ を越えるため、同時に施工効率を重視した解体工法を採用する必要がある。

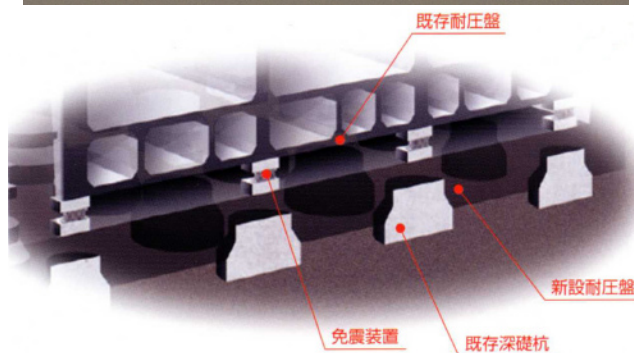


図-1 大規模免震レトロフィット概要

3. 機械化・情報化施工法の適用計画

3. 1 深礎杭の解体計画

深礎杭の解体手順計画を図－2に示す。既設の深礎杭は、比較的大きな径（2.6～4.6m）だったことから、中長期の柱軸力を地盤に伝達できることを確認し、同図のように3工程に分けた解体計画とした。なお、躯体に対して影響の少ない解体工法として、低騒音・低振動のワイヤーソーおよびロックジャッキを利用する計画とした。解体手順は、まず、深礎杭中心部の必要となる断面を残しながら周辺を2方向から解体し（第1工程、第2工程）、解体した部分に仮設ジャッキを設置して柱軸力を受け替え、最後に中心部を解体する（第3工程）。準備工事として、先行削孔を行い、ワイヤーソーで杭との縁を切る。深礎杭は無筋コンクリートであるため、ロックジャッキにて亀裂を生じさせて大き

なコンクリート塊にする。最後にブレーカ付バックホウでコンクリート塊をコンクリートガラに小分割する。ワイヤーソーは、第1および第2工程では施工効率の高い通常の有水タイプのワイヤーソーを利用することとしたが、第3工程では、解体部分近傍に設置した仮受設備にコンクリートノロが飛散しないように完全無水タイプのワイヤーソーを利用する計画とした。

3. 2 免震装置の運搬・据付計画

3. 2. 1 免震装置の設置工事

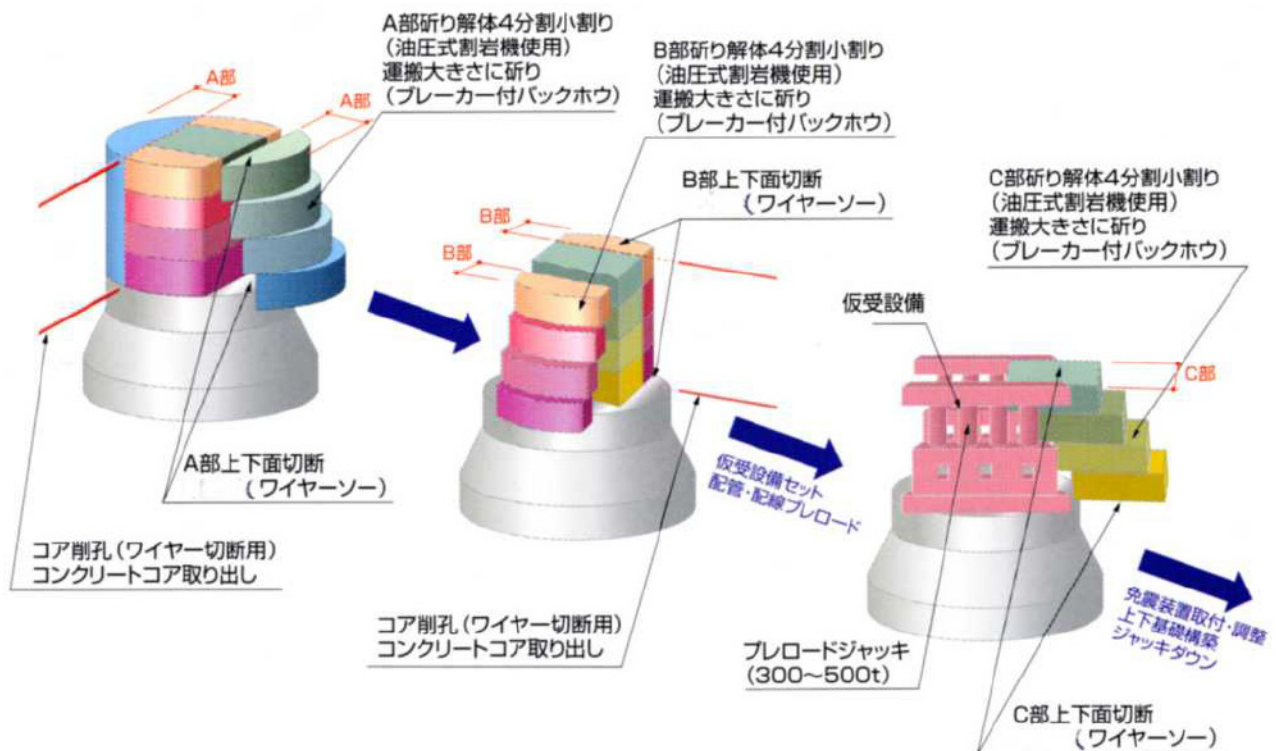
上部および下部免震基礎の構築および免震装置の設置に関する施工手順を検討した結果、以下に示す施工手順で工事を進める計画とした。

- ①下部免震基礎の構築、下部ベースプレート（以下、B-PL）の設置
- ②上部差筋アンカー工事、上部B-PLの仮固定
- ③免震装置の設置
- ④上部免震基礎の構築

上記施工手順では、上部B-PLをコンクリートのかぶり厚さ分持ち上げて仮固定できるため、免震装置設置時の上下方向のクリアランスを約30mm確保できる。すなわち、免震装置を下部免震基礎上で水平移動させる際の上下方向の余裕は30mm程度である。

表－1 深礎杭の解体手順と解体工法

	第1工程	第2工程	第3工程
手順1	コア削孔	コア削孔	ワイヤーソー（無水）
手順2	ワイヤーソー	ワイヤーソー	ロックジャッキ
手順3	ロックジャッキ	ロックジャッキ	ブレーカ付バックホウ
手順4	ブレーカ付バックホウ	ブレーカ付バックホウ	



図－2 深礎杭の解体手順

3. 2. 2 制約条件の整理

免震装置の運搬・据付に関する施工上の制約条件を以下に示す。

- ・図－3に示すように作業高さが 2.5m であることから、大型フォークリフトは利用できない
- ・上記に伴い、自走式または牽引式の運搬台車が必要となる
- ・運搬台車には図－4に示すように最大荷重 53.9kN の免震装置を高さ約 1,500mm の下部免震基礎まで上昇させるリフター機構が必要である
- ・上下方向のクリアランスが非常に小さいため、チルローラなどのスライド装置は、装置自体の高さの制約から利用できない

3. 2. 3 専用機械・装置の開発

免震装置の運搬・据付に関する作業内容を事前に分析した結果、1台ですべての関連作業を実施できる専用機械を開発すると多くの機能が必要になる。このため、機構が複雑化し、コストアップの要因となる。そこで、リフター機構を備えた運搬台車および免震装置を水平方向に移動させるスライド装置に分割して検討した。運搬台車は機能分散・コスト削減の観点から、自走式ではなく牽引式とした。作業高さが 2.5m の制約から、マスト高さを低く抑えられるフルフリーマスト仕様のフォークリフトを利用しなければならない。フォークリフトは他の運搬作業にも転用が可能であるため、費用対効果が高い。リフター付運搬台車の要求仕様を表－2に示す。

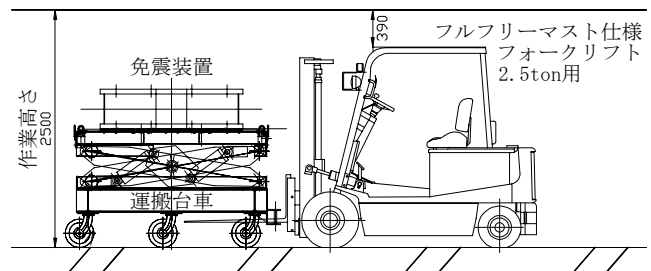
一方、スライド装置については、高さのクリアランスが約 30mm しかない空間で利用するため、以下に示す 3 種類の方法について、各種検討を進めた。

- ・MCナイロンとステンレス鋼板
- ・鋼棒状のコロ
- ・鋼球を利用した転動装置

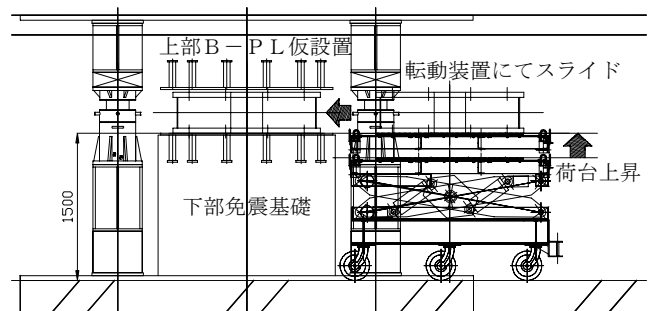
写真－1に示す転動装置は、免震支承の一つである球体転がり支承を参考に考案した。写真のように鋼球を 2 枚の鋼板で挟み込んだ簡便な装置である。

3. 3 ジャッキダウン時の計測管理計画

免震装置を設置し、上部免震基礎を構築した後、仮受設備で受けていた建物荷重を免震装置に徐々に移行させるジャッキダウン作業を行う。同作業時における



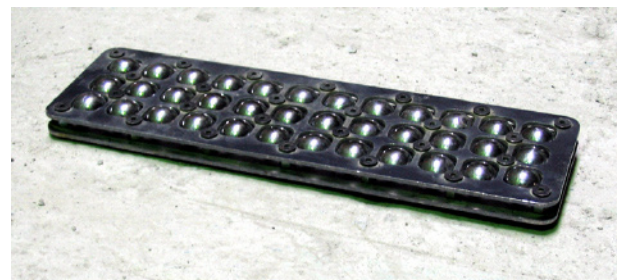
図－3 免震装置運搬計画



図－4 免震装置据付計画

表－2 運搬台車の要求仕様

寸法	W2,000×D2,000×H1,200～2,200mm
キャスター数	6 輪 (すべて自在式)
リフター機構	油圧シリンダー
リフターストローク	1,000mm
最大積載荷重	59.8kN
作業時の固定方式	アウトリガー 4 点
備考	フォークリフトとの連結装置付

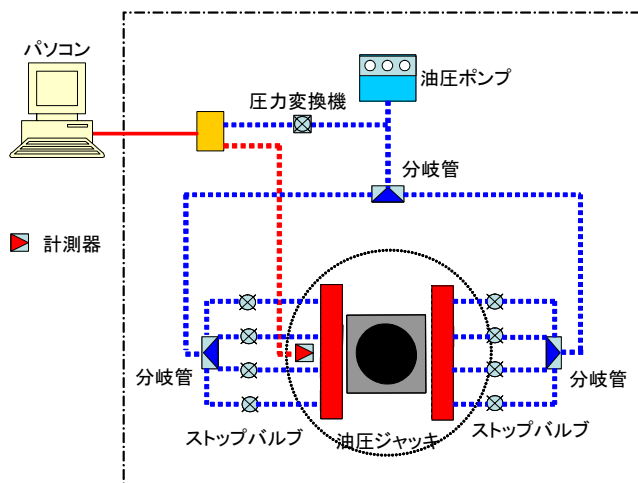


写真－1 転動装置

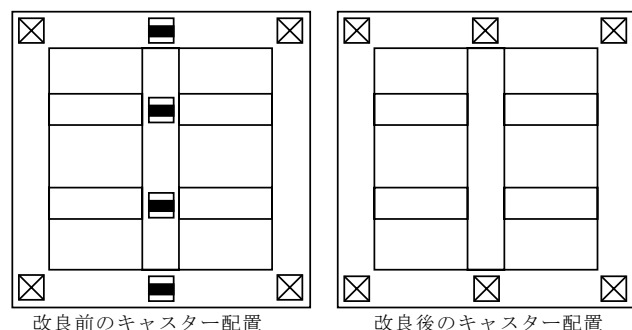
施工条件を以下に示す。

- ・各柱近傍で鉛直変位を 1/100mm 単位まで計測する必要がある
- ・関連作業中、隣合う柱間の相対鉛直変位を 1mm 以内にしなければならない

上記を満足するため、計測管理システムを構築し、図－5に示すように各柱の鉛直変位と負担荷重をモニタリングする計画とした。なお、負担過重については油圧ポンプに配管を接続した柱 (28 本、7 通り分) のみモニタリングできる。1/100mm 単位で鉛直変位の



図－５ 計測管理システム



☒ : 自在キャスター ■ : 固定キャスター

図－６ キャスター配置詳細

計測値を得るため、計測器として 1/1000mm 単位まで計測可能なリニアエンコーダを使用した。なお、リニアエンコーダのストロークは 50mm であるため、高さの不足分を支柱で補う計画とした。計測機器は、各深礎杭近傍の工事の妨げにならない場所に設置した。

4. 検証実験

計画時に検討課題となった項目について、検証実験を行い、最終の施工法に反映させた。

4. 1 運搬台車

運搬台車の検証項目を以下に示す。

- ・キャスター配置・個数と自在／固定の選択
- ・牽引方式（押す／引く）の違いによる位置決め性能および運転制御性能の確認

運搬台車のキャスター配置を図－６に示す。同図は、運搬台車を下から見た図で、左が当初計画案、右が改良した配置である。計画当初、直進性および前方視認性を重視して、同図左のキャスター配置でフォークリ

表－３ スライド方式の検証

	MCナイロンとステンレス鋼板	鋼棒状のコロ	鋼球を利用した転動装置
摩擦係数	0.15～0.2程度	0.1程度	0.01程度
スライドに要する力（計算値）	10,780N	5,390N	539N
スライド作業性	前後左右ともスライドには大きな力が必要	前後方向はスライドさせやすい	前後左右の方向制御が工具なしで可能
工器具の利用	レバーブロックなどが必要	レバーブロックなどが必要	特に必要なし
備考	大重量物のスライドには不向き	動かしやすい反面、位置を微調整しにくい	表面に付着したゴミや埃を定期的に除去する必要がある

フトによって引っ張る方式としていたが、走行試験を繰返したところ、小回り性能が低く位置決めが難しいことが判明した。これらの理由により、キャスターの配置を変更して小回り性能を高めた。さらに、位置決めしやすくするために、フォークリフトで運搬台車を押す方式へ変更した²⁾。

4. 2 スライド方式

前章で示した３種類のスライド方式（MCナイロンとステンレス鋼板、鋼棒状のコロ、鋼球を利用した転動装置）について検証実験を行った。免震装置を大きくスライドさせ、大まかな位置まで移動させる際は、直進性が重視される。一方、ボルトで固定する際は、前後左右の細かい位置決めのため微調整機能が重視される。検証実験の結果を表－３に示す。同表に示すように摩擦係数の違いがそのまま作業性に表れ、最も摩擦係数の低い転動装置が工具なしの状態でも前後左右すべての動きに優れていたため、実工事においては、転動装置を採用した²⁾。

5. 工事適用結果

5. 1 深礎杭の解体

深礎杭の解体状況を写真－２～４に示す。ワイヤーを通す穴を先行削孔した後、ワイヤーソーにて深礎杭の外側部分の解体を行った。ワイヤーソーで解体作業を行っている杭周辺には立入禁止措置を行った。続いて、ロックジャッキの先端部を挿入する穴を先行削孔し、杭と縁の切れた無筋コンクリートにロックジャッキで大きなひび割れを生じさせる。先行してガイドホールを削孔することによって、ひび割れの方をコントロールできた。最後に大きなコンクリート塊をバックホウに取付けた油圧ブレーカにより細かく破碎し、ガラを集積した後、地上へ搬出した。



写真-2 ワイヤーソーによる解体



写真-5 免震装置運搬



写真-3 ロックジャッキによる解体



写真-6 免震装置据付



写真-4 油圧ブレーカによる解体

5. 2 免震装置の運搬・据付

5. 2. 1 免震装置の運搬

免震装置運搬時の状況を写真-5に示す。引っ張る方式から押す方式に変更したことで、フォークリフトと一体で運搬できるため、狭い地下空間を長距離にわたり、スムーズに短時間で運搬することができた。設

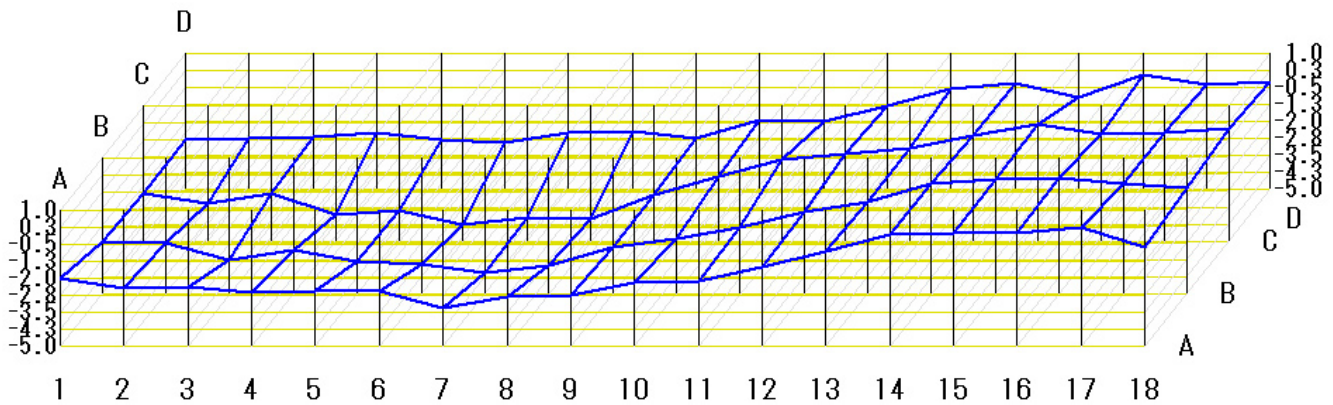
置場所近傍に台車を寄せ付けた後、アウトリガーを張り出し、運搬台車の荷台をリフター機構で下部免震基礎よりも少し高いレベルまで上昇させた。なお、あらかじめ荷台上面に転動装置をセットし、免震装置が動かないよう荷台へ固定した。

5. 2. 2 免震装置の据付

免震装置の固定を解き、荷台から下部免震基礎上の下部プレート上へ免震装置をスライドさせる。転動装置を固定せずに使用した場合、免震装置のスライドとともに転動装置は後方へ移動する。このため、免震装置の前方には常に転動装置を十分にセットしておく必要がある。直線移動、前後左右への微調整・位置決めなどを簡単に手作業で実施できたため、他のスライド方式に比べ作業時間を短縮できた。

5. 3 ジャッキダウン時の計測管理

1台の油圧ポンプと柱4本（1通り）分のジャッキを配管で接続した。油圧ポンプを7台（7通り分）準



図ー7 計測管理画面 (10 通りまでジャッキダウン完了)

	1 通り	2 通り	3 通り	4 通り	5 通り	6 通り	7 通り
	4 柱	4 柱	4 柱	4 柱	4 柱	4 柱	4 柱
STEP- 1	1mm						
STEP- 2		1mm					
STEP- 3	1mm						
STEP- 4			1mm				
STEP- 5		1mm					
STEP- 6	1mm						
STEP- 7				1mm			
STEP- 8			1mm				
STEP- 9		1mm					
STEP-10	1mm						
STEP-11					1mm		
STEP-12				1mm			
STEP-13			1mm				
STEP-14		1mm					
STEP-15	1mm (完了)						
STEP-16						1mm	
STEP-17					1mm		
STEP-18				1mm			
STEP-19			1mm				
STEP-20		1mm (完了)					

図ー8 ジャッキダウンの作業手順 (第1日目)

備し、配管が完了した柱では、油圧から換算して得られた荷重値をモニタリングした。ジャッキダウン時の制約（隣合う柱の相対鉛直変位は1mm 以内）から、図ー8の作業手順に示すステップを踏んで1 通りずつジャッキダウンを進める施工方針とした。実工事では、各ステップ内で柱1本ずつ0.5mm 程度の細かいジャッキダウンを繰り返し行い、1日あたり2通り（柱8本）分のジャッキダウン作業を完了させた。5日目終了時点での変位計測画面を図ー7に示す。同図は、10 通りまでジャッキダウンが完了した図であるが、11～13 通りも相対変位1mm 以内の制約を守りつつ、少しずつレベルを下げていく状況がわかる。すべての柱の変位およびジャッキダウン作業に関連する柱のジャッキで仮受けしている荷重をモニタリングできる専用の計測管理システムを開発し、対象の柱や周辺の柱の変位および荷重を確認しながら作業を進められたため、きめ細かい油圧ポンプの操作が可能になり、ジャッキダウン時の制約を守りつつスムーズな作業が実現した。

6. おわりに

本報では、大規模建物の免震レトロフィットにおける各種機械化・情報化施工について各種検証を行い、以下の知見を得た。

- ・深礎杭の解体において、ワイヤーソー、ロックジャッキ、油圧ブレーカの組合せで解体したことにより、振動・騒音レベルを抑えた施工効率の高い解体作業が実現した
- ・作業高さ2.5m の作業空間で免震装置を運搬するため、リフター機構付運搬台車を開発し、フォークリフトで押した。装置重量を低減でき、狭い空間を長距離に渡り、スムーズに運搬できた
- ・上下のクリアランスが30mm しかない空間で免震装置の据付を行うため、鋼球を使った転動装置を開発した。この結果、作業性が大きく向上し、作業時間の短縮に貢献した
- ・専用の計測管理システムを開発し、ジャッキダウン作業を行ったところ、各柱の変位および負担荷重を把握して的確に作業を進めることができた

最後に発注者の国土交通省大臣官房官庁営繕部をはじめ、御協力頂いた工事関係者に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三宅伸幸：経済産業省総合庁舎別館耐震改修工事，Re, (財) 建築保全センター，No. 152, pp. 81-84, 2006
- 2) 池田雄一，坂井利光，谷口英武：大規模免震レトロフィットにおける機械化施工法の開発，2008 年度建築学会大会学術講演梗概集 A-1 材料施工，pp. 283-284, 2008