

PC鋼材で耐震補強された名取1号橋における 調査報告

— PC&PA工法による下部工の耐震補強 —

橋本 晃^{*1}・中原 晋^{*2}・江崎 守^{*3}・板谷 英克^{*4}

<空白行>

PC&PA工法にて下部工の耐震補強がなされた名取1号橋は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を被災した。耐震補強がなされた橋梁において、被災するケースは稀であるため、設計・施工・追跡調査を一連にて行えたケースが少ない。本橋梁では、震災後に追跡調査を行う機会を得て、定着体やPC鋼材の健全性を確認し、耐震補強としてPC&PA工法が有効であることを見出した。

<空白行>

キーワード : PC&PA工法, 東北地方太平洋沖地震, 追跡調査

<空白行>

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、東北地方を中心に甚大な被害をもたらし、日本中を震撼させた。宮城県名取市に架橋されている名取1号橋は、PC鋼材にて耐震補強（以降：PC&PA工法と略記）がなされた橋梁であり、地震後の点検にて上部工および下部構造ともに損傷を被っていないことが確認された。PC&PA工法とは、既設橋梁の橋台と橋脚をPC鋼材でそれぞれ繋ぎ、地震時の橋脚頂部の変位を小さくすることで、橋脚柱基部の負担を軽減させる耐震補強工法である。そのため、本橋梁では、橋台橋脚間を連結しているPC鋼材に地震時の張力が作用したことが予想された。本稿では、震災以前に行われた耐震設計および施工について述べたのち、2013年11月にPC&PA工法で重要な部位となるケーブルや定着体およびその周辺に対して行った追跡調査の結果について報告する。

2. 橋梁諸元

本橋は、図-1に示すように宮城県名取市の一般国道286号に架橋された3径間単純鋼桁橋で、下部構造は直接基礎の逆T式橋台と小判型橋脚からなる。上流側は1975年（S50年）、下流側は1982年（S57年）に竣工された。その後、兵庫県南部地震規模の地震に対応するために2005年（H17年）にPC&PA工法により耐震補強工事が実施された。

路線名 : 一般国道286号
上部工形式 : 3径間単純鋼桁橋
橋長 : 95.2m
幅員構成 : 下り線15.25m, 上り線12.00m
斜角 : 74° 00' 00"
下部工形式 : 橋台 逆T式 橋脚 小判型
基礎形式 : 直接基礎
完成 : 上流側1975年（S50年）
下流側1982年（S57年）
耐震補強 : PC&PA工法 2005年（H17年）12月完成



図-1 架橋位置図

<写真欄>



*1 Akira HASHIMOTO
(株)千代田コンサルタント
技術統括部



*2 Susumu NAKAHARA
(株)安部日鋼工業
技術工務部



*3 Mamoru ESAKI
(株)安部日鋼工業
技術工務部



*4 Hidekatsu ITAYA
極東鋼弦コンクリート
振興(株) 技術部

3. 耐震設計

3.1 PC&PA工法概要

阪神・淡路大震災以降、既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強として、RC巻立て工法や鋼板巻立て工法、炭素繊維補強工法等が採用されてきた。これらの工法は性能が確認された有効な工法であるが、河川内の橋脚に適用した場合に大掛かりな締め切り工を伴うことや補強された橋脚の河川阻害率の問題が存在する。また、補強した橋脚の耐力が増大して主たる損傷箇所が基礎に移行することが懸念される。このような中、大掛かりな締め切りを必要とせず橋脚の耐力を増大させない補強工法として、図-2に示すように橋脚頂部と橋台とをPCケーブルで連結し橋脚天端の変位拘束と地震応答特性を制御することにより、柱基部の塑性ヒンジの回転角を低減させるPC&PA工法¹⁾が開発された。本工法の効果については、実構造物の1/10スケールの供試体による正負交番試験²⁾や振動台実験³⁾で確認されている。また、施工方法は上部構造から吊足場を設置し、橋脚天端と橋台にPC鋼材の定着金具を取り付け、PC鋼材を配置して緊張するため、橋梁上面からのみで施工が可能な工法である。

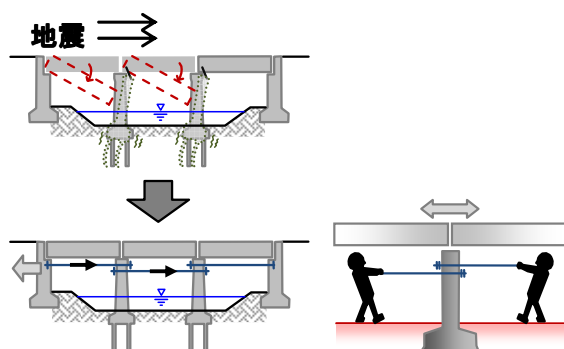


図-2 PC&PA工法の概念図

3.2 本橋における耐震補強

本橋梁の耐震補強設計は、兵庫県南部地震を受けて改定されたH8年版道路橋示方書により実施した。連結PC鋼材は、図-3に示すように桁間の空間を利用して橋軸方向に配置し、橋台および橋脚上のRC定着壁に固定した。入力地震動は、道路橋示方書に準拠して標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように、既往の強震記録を振動数領域で振幅調整された加速度波形3波（最大加速度812gal）とした。

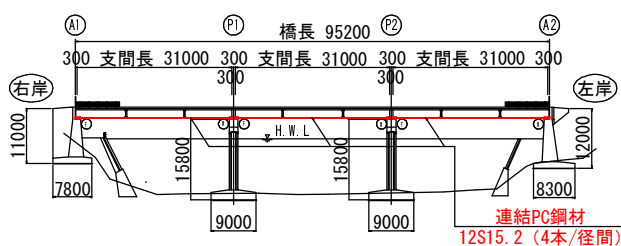


図-3 名取1号橋側面図

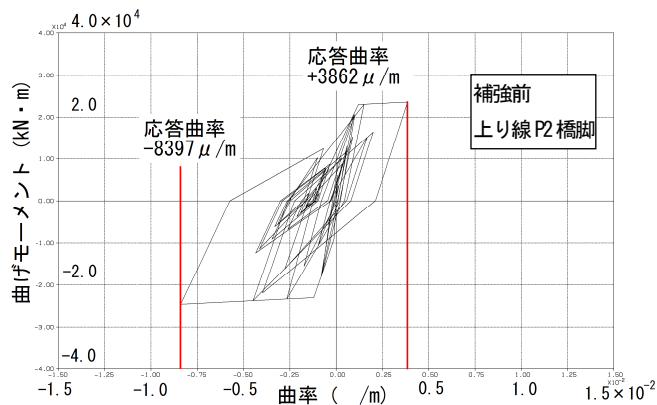
時刻歴応答解析の結果、上り線P2橋脚では、表-1に示すように橋脚頂部の最大応答変位が補強前192mmからPC&PA工法補強後63mmと67%に低減された。また、最大応答曲率は、補強前6235 μ /mからPC&PA工法補強後1298 μ /mと79%に低減された。

いずれの橋脚においても、PC&PA工法にて補強することにより、最大応答変位が約50~70%、最大応答曲率が60%~80%低減された。

表-1 時刻歴応答解析結果一覧(3波平均)

	着目部位		単位	補強前	補強後	許容値	低減効果
最大応答変位	上り線 (下流側)	P1橋脚	mm	219	85	—	61%
		P2橋脚		192	63	—	67%
	下り線 (上流側)	P1橋脚		159	74	—	53%
		P2橋脚		159	58	—	64%
最大応答曲率	上り線 (下流側)	P1橋脚	μ / m	5370	2303	5060	57%
		P2橋脚		6235	1298	5120	79%
	下り線 (上流側)	P1橋脚		7492	2373	5450	68%
		P2橋脚		7492	1276	5450	83%
PC鋼材張力	上り線 (下流側)	A1-P1	kN/本	—	209	降伏強度 2664kN/本	—
		P1-P2		—	370		—
		P2-A2		—	354		—
	下り線 (上流側)	A1-P1		—	489		—
		P1-P2		—	148		—
		P2-A2		—	334		—

代表例として抽出したType I-2地震波形における曲げモーメントと応答曲率の関係では、図-4に示すようにPC&PA工法で補強することにより、橋脚基部の応答曲率の絶対値が大幅に低減され、抑制効果が高いことも確認された。



PC&PA工法による補強

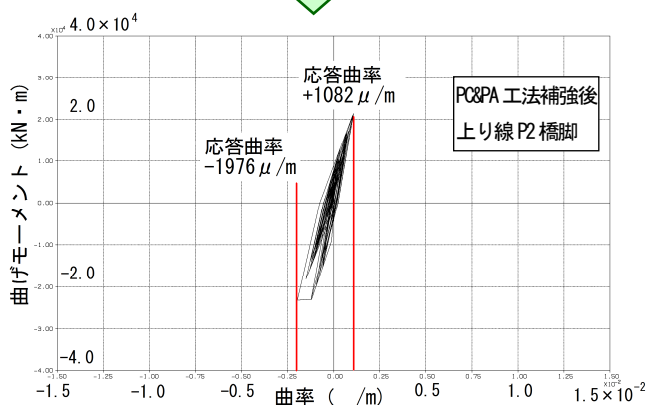


図-4 時刻歴応答解析結果(L2地震動 Type I-I-2)

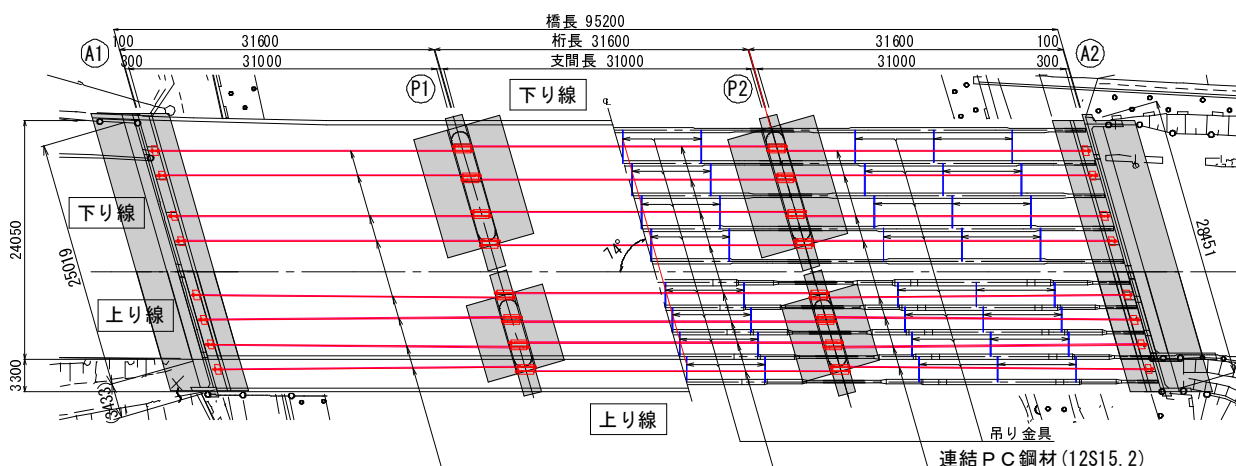


図-5 名取1号橋平面図

4. 耐震補強工事の施工

4.1 施工概要

本橋における連結PC鋼材は、12S15.2mmを図-5および写真-1に示すように橋軸方向配置で主桁間に1本ずつ配置（4本径間×上下線）し、RCの定着壁に定着具を介して固定する方法であった。施工は、図-6に示すように吊足場を設置する仮設工、定着具が固定され地震時にPC鋼材に発生する張力を負担する定着壁工、および連結PC鋼材の挿入・緊張を行うPCケーブル工の順序にて行った。



写真-1 連結PC鋼材配置

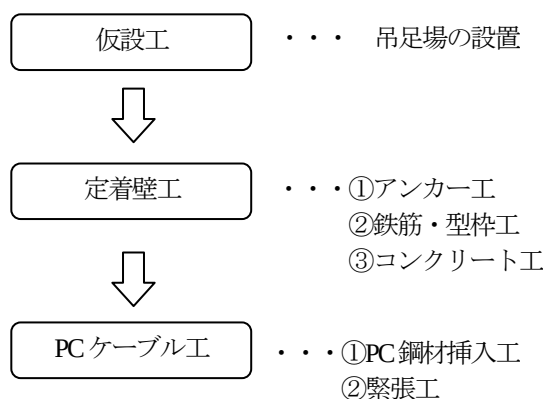


図-6 PC&PA工法施工フロー

4.2 仮設工

本橋における吊足場は、写真-2に示すように連結PC鋼材配置と合わせ、主桁間の橋軸方向に設置した。



写真-2 吊足場

4.3 定着壁工

アンカー工は、削孔前にRCレーダーを用いて電磁波レーダー法にて既設鉄筋を確認し、定着アンカー筋の位置を決定した。削孔は、コアボーリングマシンを用いて行い、削孔に伴う切削水が河川内へ落下することを防止するため、排水を吸引しながら施工した。アンカー筋は、エポキシ樹脂注入後に後挿入する方法とし、設置完了後に写真-3に示すように超音波探傷法によって定着長の確認を行った。

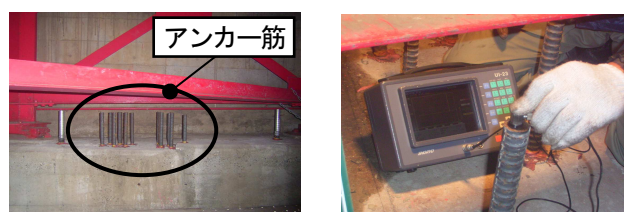


写真-3 定着アンカー筋と探査状況

定着壁コンクリートは、打設量が少ないものの、橋台や橋脚天端の狭小な箇所への打設となり、人力による運搬・投入が難しいことから、ポンプ打設にて行った。

4.4 PCケーブル工

PC&PA工法は、図-7に示すように地震時の橋脚変位を連結材であるPC鋼材にて抑制する工法であるため、地震時においてPC鋼材に作用する引張力が最大（ P_{max} ）となる。このため、常時では張力（ P_e ）を小さくしておくことが有効となる。

施工時の導入張力は、ケーブルが垂れて見えない程度の緊張力であるPC鋼材自重の20倍を目安とし、ケーブル理論を用いて水平張力から算定した。本橋における導入張力は、摩擦損失、セットロス considering 1S15.2 あたり $P_i=2.5kN$ とした。なお、緊張による下部工の変形は、導入張力が小さく影響がないことがこれまでの実績⁴⁾において確認されているため、考慮していない。

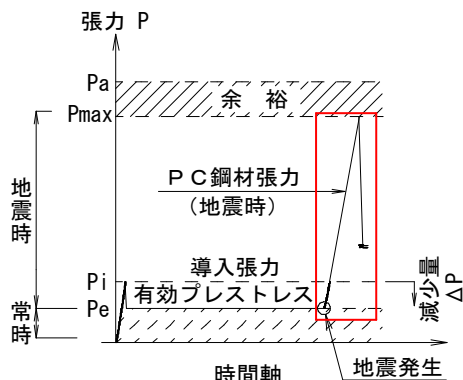


図-7 PC鋼材張力のイメージ

PC鋼材は、導入緊張力が小さく緊張時に鋼材のねじれによる摩擦の影響を無くす必要があることから、ケーブル捌き具および薄板による案内板を設けて3本ずつ挿入し、写真-4に示すようPC鋼材のねじれを防止した。



写真-4 PC鋼材の挿入

シーすは、主桁下フランジから橋軸直角方向に単管を組み、PC鋼材やシーす自重による垂れ下がりが生じないように緊張完了まで仮支持させた。単管にて仮支持する高さは、径間途中に3箇所設置する吊り金具のシーす高さを基準として、緊張によって生じるサグ量の変化が確認できる高さに設定した。

定着具は、PC&PA工法の特長上、低緊張力で定着する

必要があることから、図-8に示すように低緊張力においても定着可能なPC&PA専用定着体を採用した。

緊張は、図-9に示すように低緊張力でも緊張管理が行え、狭小な作業空間でも効率よく緊張作業が行えるよう開発されたジャッキおよびポンプを用いた。

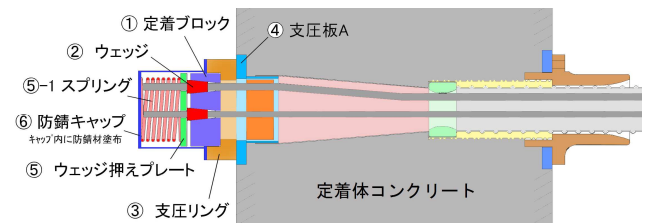


図-8 PC&PA工法定着具 12T15



図-9 緊張ジャッキ・ポンプ

緊張作業は、図-10および写真-5に示すように12本のより線を1本ずつ片引きにて行った。緊張管理は、圧力管理とし、1次緊張で所定の導入力まで緊張し、2次緊張において、1次緊張の導入力が低減していないかを確認する方法にて行った。なお、緊張作業時には、3枚1組のウェッジが均等にPC鋼より線をグリップし、セット量のばらつきが抑えられるよう、テンショニングキャップを用いた。

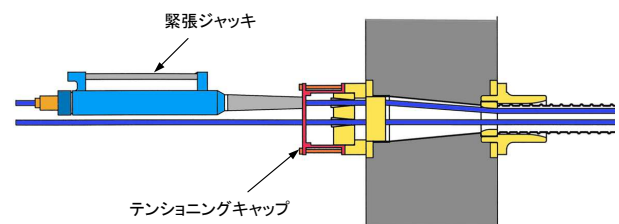
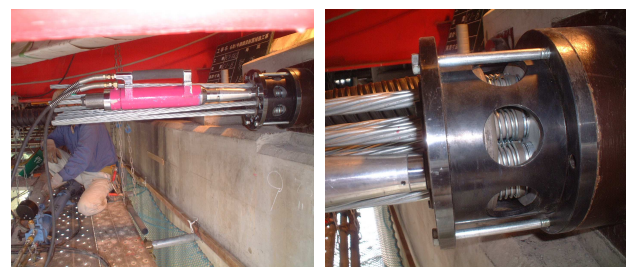


図-10 緊張模式図



a) 緊張ジャッキ側全景 b) テンショニングキャップ
写真-5 緊張状況

5. 追跡調査

5.1 調査目的

追跡調査は、PC&PA工法で耐震補強した本橋梁が東北地方太平洋沖地震で被災したことから、PC&PA工法用の定着具およびPC鋼材の状態を確認する目的で行った。

5.2 調査内容

定着体の調査箇所は、桁下を横断する市道の交通規制の制約から足場の設置が可能な上り線のP2-A2径間とし、図-11に示すA2橋台の2箇所とP2橋脚の4箇所（定着具A～定着具F）を調査した。

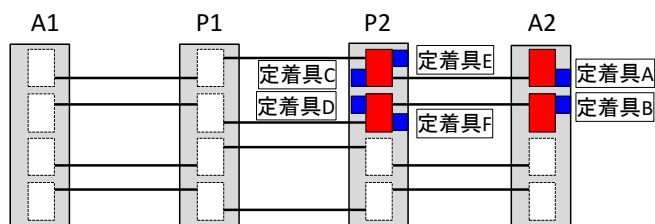


図-11 調査箇所(上り線)

各定着具の調査は、施工当時の防錆キャップや支圧板の防錆仕様がタールエポキシ樹脂塗装であったことから、表-2に示すようPC鋼材や定着具の発錆有無を目視確認するほか、ウェッジの出しろを測定し、定着状態を確認する内容とした。

表-2 調査内容一覧

	項目	調査内容
目視調査	① 橋台、橋脚	外観目視 地震によるクラック発生の有無
	② 定着部 コンクリート	コンクリートブロックの クラック発生状況
	③ 定着具 外観	定着具の状態確認
	④ 定着具 防錆キャップ内	主要部材発錆などの状態確認
	⑤ シース	シースおよびシースジョイント部の 状態確認
	⑥ PC鋼材	余長部およびシースジョイント部にて 表面状態の確認
測定	⑦ ウェッジの出しろ の測定	定着状態に異常がないか確認

5.3 調査結果

定着具の調査を行う前に本橋梁の橋台および橋脚の外観調査を行い、地震による損傷がないことを確認した。定着具が埋め込まれているコンクリートブロックは、写真-6に示すようにクラックなどの損傷は全く見られず、健全な状態を保っていた。定着具の外観は、写真-7に示すように供用中は暴露状態にあるため、埃などが付着しており、

防錆キャップ表面には点錆のようなものが若干発生していた。また、定着具の防錆として施したタールエポキシ樹脂塗装は、埃などの付着があった外面では変色や膜厚が薄くなっている箇所が一部あったが、内面の劣化は生じていなかった。



写真-6 定着部コンクリート



写真-7 定着具外観

防錆キャップ内の構成部材のうち、定着具の主要部材である定着ブロック、ウェッジやPC鋼材の状態の調査を行った。ウェッジ押えプレートやスプリングは、写真-8、写真-9に示すように汚れや発錆も無く施工時の状態のまま健全であった。定着ブロックとウェッジにおいても、一部防錆剤による汚れはあるものの写真-10に示すように発錆も無く健全であった。

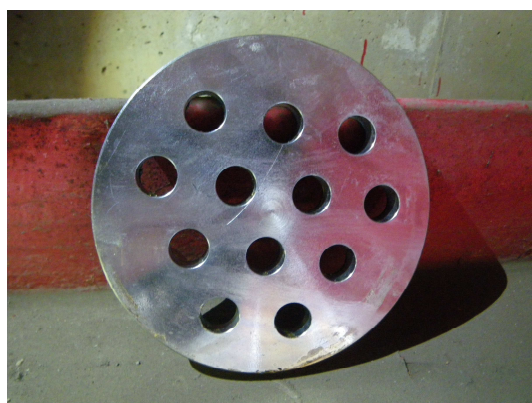


写真-8 ウェッジ押えプレート



写真-9 スプリング(ウェッジ押え用)



写真-12 ウェッジ出し測定状況



写真-10 PC鋼材および定着具の現況

PC鋼材の調査は、余長部やシースジョイント部にて実施した。PC&PA工法におけるPC鋼材は、亜鉛めっき処理品を使用しており、写真-11に示すように発錆や有害な腐食は全く見られず健全な状態であった。



写真-11 PC鋼材

ウェッジの出しろは、PC鋼材を3枚のウェッジにより定着していることから、地震時の張力作用によりバラツキが生じている可能性があった。そこで、写真-12に示すようにノギスにより測定した結果、3枚の出しろは、ほぼ均等で大きな段差もなく安定してPC鋼材をグリップしていた。このことから、地震によってPC鋼材に張力が作用した場合においても、ウェッジの拔出しに対して、ウェッジ押えプレートやスプリングの効果があつたと考えられる。

以上、調査した結果、橋梁に有害な損傷は見受けられず、設置されている定着具にも有害な損傷や錆もみられず健全性が保たれていた。また、PC鋼材の定着状態に異状はないことから、東北地方太平洋沖地震の際にPC&PA工法の効果が発揮されたものと推測される。このことから、PC&PA工法は、今後、発生が懸念されている大規模地震に対しても有効な耐震補強工法の一つであると考えられる。

6. おわりに

今回追跡調査を行った結果、震災後においても定着具やPC鋼材、橋脚の健全性が確保されていたことから、PC&PA工法は大規模地震に対しても有効な耐震補強工法であることが確認できた。

今回行った追跡調査において、点検が容易に行えることを体感し、維持管理しやすい工法であることが確認できた。

現在の定着具は、設置個所が桁下空間で埃や湿気が停滞しやすい環境であることから、防錆機能を考慮し亜鉛めっき処理仕様に改良され、耐食性が高められている。

今後は、さらなる定着システムの性能向上、施工性向上を目指し検討を進めたいと考えており、耐震補強が整備されていない橋梁に対してPC&PA工法をご活用いただければ幸いである。

追跡調査を行うにあたり、ご協力頂いた宮城県仙台土木事務所をはじめ関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省新技術情報提供システム NETIS 登録番号 No.QS-020026
- 2) 中原晋，湊敬文，宮原裕二，原田哲夫：PC鋼材による耐震補強効果に関する実験報告および簡易評価方法の提案，第17回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム 2008年11月
- 3) 岩田秀治，関雅樹，阿知波秀彦：振動台実験によるPC鋼材を用いた橋脚天端の変位拘束の耐震補強効果，第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集 2007年2月
- 4) 三井祐二，平川吉幸，宮原裕二，中原晋：PC&PA工法施工報告～瀬石谷橋橋脚耐震補強工事～プレストレストコンクリート vol47, No.1, 2005