第32回建設マネジメント問題に関する
研究発表･討論会講演集　2014年12月

無筋橋脚に適した耐震補強工法の開発

大本　晋士郎[1]・西村　隆義[2]・

[1]正会員　株式会社熊谷組　土木事業本部　インフラ再生事業部（〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1）
E-mail:sohmoto@ku.kumagaigumi.co.jp

[2]正会員　株式会社ジェイアール総研エンジニアリング 構造技術部(〒185-0034 東京都国分寺市光町2-8-38)
E-mail: t_nisimura@jrseg.co.jp

鉄道在来線で現在も多く使用されている無筋コンクリート構造の橋脚,橋台に適した耐震補強工法を開発した．開発した工法は，橋脚・橋台に上面から削孔し鋼材を挿入するというシンプルな方法で，地震時のコンクリート打継目のずれを防止する．橋脚上面から施工することで外周足場が必要最小限で済み，また構造が単純であることから，大幅なコスト低減が可能である．開発の詳細を示すとともにコストの試算を行い，従来工法に対する優位性について紹介する．

Key Words : *Non-reinforcement concrete, Pier, Abutment, Inserting the steel material, Unbonded PC*

1.　はじめに

鉄道在来線で現在も多く使用されている無筋コンクリート構造の橋脚・橋台において，地震により写真-1に示すように，躯体が損傷する事例が見られる．

損傷として，無筋構造特有の破壊形態である打継部のずれが発生している．

様々な橋脚の耐震補強が進むなかで，このような無筋構造の橋脚は未補強のものが多く残っている．無筋橋脚は大正～昭和初期に作られ100年近く経過したものが多く，従来工法であるRC巻立て，鋼板巻立て等で補強工法を検討しても，架け替えと同程度の多大な労力･コストが必要となることが要因と考えられる．

そのため無筋橋脚に適した新たな耐震補強工法の検討開発を実施した．表-1に示すように無筋橋脚とRC橋脚について一般的な比較を行ったところ上載荷重がRC橋脚に比べ小さいことから，打継部のずれを防止することで経済的，効果的な補強を行うことができると考えられた．

写真-1　無筋橋脚の打継目損傷（新潟県中越地震）[2)]

2.　工法概要

工法概要を図-1に示す．構造体内部を削孔し，鋼材を挿入することで補強を行う方法である．図-2に示すように従来工法（RC巻き，鋼板巻き等の外部補強）に比べ橋脚上面から施工する内部補強のため，外周足場が必要最小限に出来ること，土中の掘削が不要で補強できること等から，コストパフォーマンスに優れた工法となる．

また外形が変わらないことから河川橋脚では河積阻害率に変化がなく有利である．

表-1　耐震補強における無筋橋脚と RC 橋脚の主な違い

	無筋橋脚	RC 橋脚
上載荷重 (死荷重)	小さい (鉄桁：0.2N/mm²程度)	大きい (ｺﾝｸﾘｰﾄ桁：0.5～1.5N/mm²程度)
主な地震時 損傷形態	打継部ずれ	せん断破壊，曲げ破壊
耐　震 対　策	RC 巻立て・鋼板巻立て ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ巻立て・繊維ｼｰﾄ巻き立て など	
	(開発工法) 鋼棒後挿入工法	―
補強後 の挙動	打継部ずれ抑止 じん性･曲げ耐力の向上	せん断破壊防止 じん性･曲げ耐力の向上

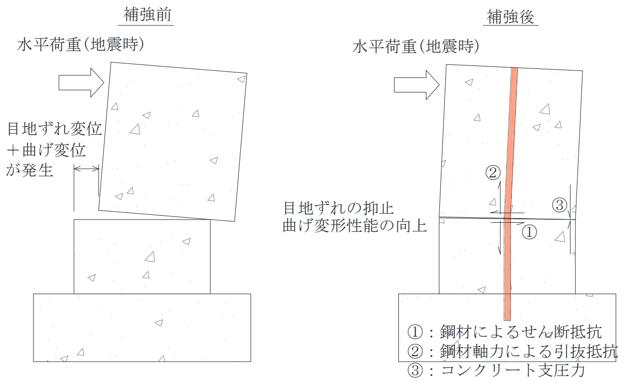

図-1　無筋橋脚の新しい補強工法概要

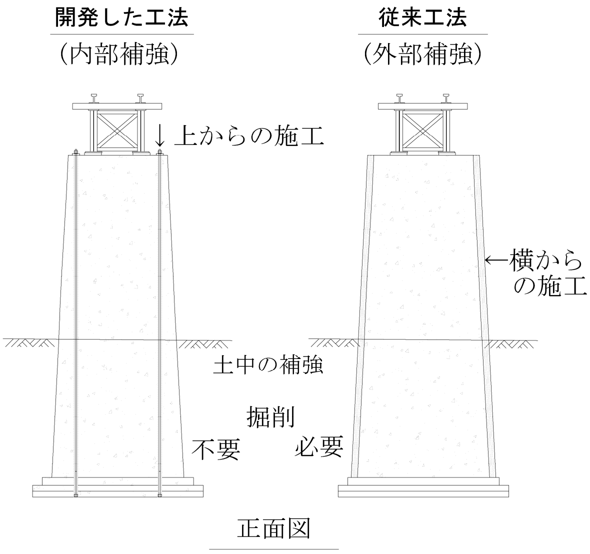

図-2　従来工法との比較

挿入する鋼棒は補強レベルに応じて，以下のように使い分け出来る．

・鋼棒（異形，丸鋼）→打ち継ぎ部のずれ防止
・アンボンドPC鋼棒　→打ち継ぎ部のずれ防止
　　　　　　　　　　　＋緊張力による曲げ耐力の向上

縮尺模型による載荷実験を実施し補強効果を確かめるとともに，設計手法を確立し実施工へ適用した．

3.　縮尺模型による補強効果の確認試験

既設橋脚の1/8を想定した試験体を製作し載荷試験を実施した．

表-2，図-3，図-4に試験体の諸元を示す．

試験体の中段に打継目を設けたが，補強鋼材の効果を明確にするため，打継目処理として塩ビシートによる縁切りを行った．実験ケースは鋼棒（丸鋼）とアンボンドPC鋼棒の2ケースで行った．

表-2　実験ケース・諸元

実験ケース・諸元	CASE-1	CASE-2
断面寸法(打継部)	1,400mm×500mm	
載荷高さ	1100mm	
載荷方向	橋軸方向(変位制御の交番載荷)	
補強鋼材	鋼棒φ13×3本	PC鋼棒φ13×4本
軸力(上載荷重)	140kN(上載荷重)	420kN(導入軸力)
軸圧縮応力	0.2N/mm²	0.6N/mm²

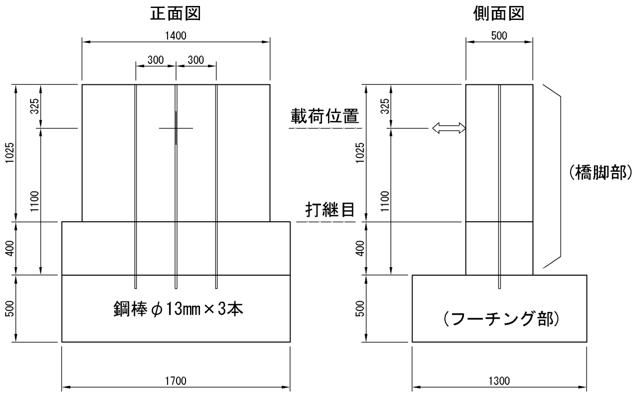

図-3　CASE-1 試験体図

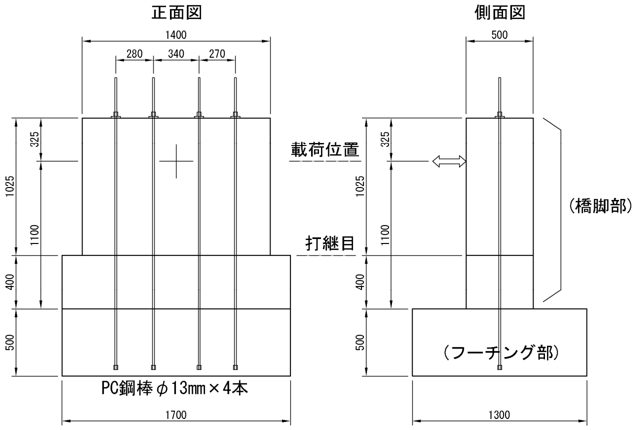

図-4　CASE-2 試験体図

写真-2　試験体および試験状況

図-5に鋼棒挿入前（CASE-1）の水平荷重－載荷点水平変位関係を示す．水平荷重が約±15kNの時，荷重値一定で変位が増大するが，打継目がずれている状態である．この時の荷重は(軸力)×(打継目の摩擦係数μ)で評価できるが，水平荷重と軸力から打継目の摩擦係数μ＝0.13と算定された．

図-6に補強後の水平荷重－載荷点水平変位を示す．各ケースにおける載荷曲線の概要は以下の通りである．

(1)　CASE-1

段階1：水平変位5.5mm(部材角1/200)で鋼棒が降伏．水平荷重は+60kNで，この時をδyと定義

段階2：最大水平荷重は±3δy(16.5mm)時で+72.6～-79.3kN

段階3：±8δy(44mm)時に水平荷重が段階1荷重を下回ったため実験終了

(2)　CASE-2

段階1：水平変位が5.5mm(部材角1/200)でPC鋼材が降伏.水平荷重は+128kNでCASE-1と同じくδyと定義

段階2：最大水平荷重は±10δy(55mm)時で，+159.4kN～-157.6kN

段階3：10δyを超えたところでぜい性的な破壊(PC鋼棒破断)で耐力が低下

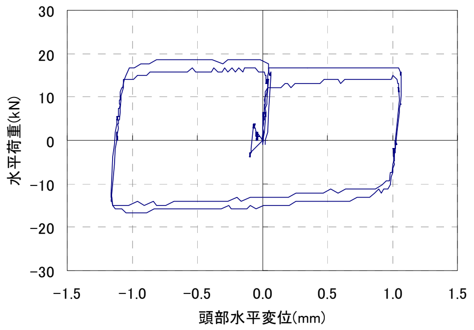

図-5　水平荷重－頭部水平変位関係
(CASE-1の鋼棒挿入前=未補強)

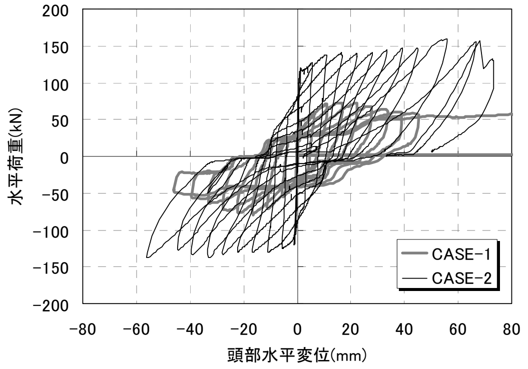

図-6　水平荷重－頭部水平変位関係
(鋼棒挿入後＝補強後)

補強後の荷重-変位曲線は，降伏→最大荷重→荷重維持というRC構造同様の曲線となり，じん性は8δy～10δyを確保することが出来た．したがって鋼棒およびPC鋼棒により補強された後は，打継目の過大なずれを抑え，かつ曲げ変形性能を有した構造にできることが確認できた．なお鋼棒の降伏時における水平力はコンクリート標準示方書に示されるせん断伝達耐力に関する算定式を適用することによって評価できることを同時に確かめている[1)2)].

4.　コスト低減効果（従来工法との比較試算）

開発工法が従来工法に比べどの程度コストを低減できるかを試算した．なお諸条件は仮想のものである．

(1)　試算例①（陸上橋脚での直接工事費比較）

施工条件：陸上橋脚1基

橋脚規模：高さ8.4m，幅3m×厚さ1.5m

施工方法：鋼棒後挿入工法は橋脚上から施工

RC巻き工法，鋼板巻き工法は外周足場を設置し施工

掘削なし：地中に埋設していない橋脚を想定

掘削あり：地中に3.6m埋設．掘削方法は土留めなしで安定勾配での掘削を想定

(2)　試算例②（河川橋脚の概算工事費比較）

施工条件：河川橋脚，河川幅300m

河川敷内8橋脚＋河床内3橋脚の11橋脚

橋脚規模：高さ6.1m，幅5m×厚さ2m

施工方法：鋼棒後挿入工法は橋脚上から施工

RC巻き工法，鋼板巻き工法は外周足場を設置し施工

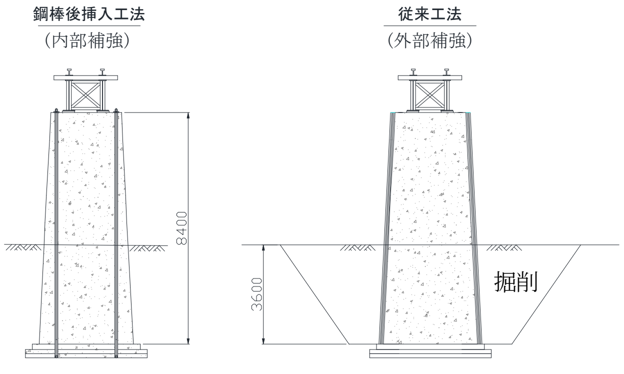

図-7　試算①概要図（正面図）

表-3　試算例①（陸上橋脚1基あたりの直接工事費比較）

条件：橋脚高さ8.4m	鋼棒後挿入工法(φ40mmのPC鋼棒2本)	RC巻き工法(巻厚200mm D19@150)	鋼板巻き工法(t=9mm)
掘削なし	1.0	1.04	1.56
掘削あり（地中3.6m）		1.52	2.05

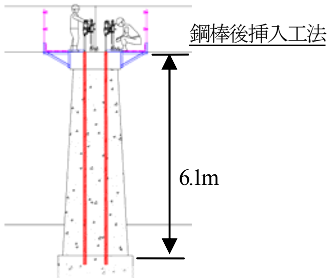

表-4　試算例②（河川橋脚の概算工事費比較）

条件： 橋脚高さ6.1m	鋼棒後挿入工法 (φ40mmの PC鋼棒6本)	RC巻き工法 (巻厚200mm D32@150)	鋼板巻き工法 (t=6mm)
掘削あり （地中1.5m）	1.0	5.2	5.4

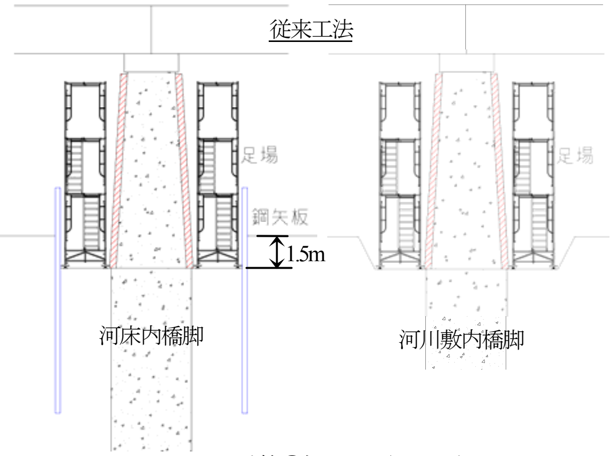

図-8　試算②概要図（側面図）

写真-3　陸上橋梁での補強例

写真-4　河川橋梁での補強例

試算例②の掘削について，河川敷内は盛土道路＋安定勾配掘削，河床内は仮設桟橋＋締切工を想定した．

①②共，大きくコストを低減できることが分かる．

5.　実橋への適用

これまで鉄道会社３社，６橋梁に適用し，補強した橋脚総数は41橋脚にのぼる．また2橋台について実績がある．写真-3は跨道橋の例である[3]．また写真-4のように山間部景勝地でも適用例がある．

6.　まとめ

開発した工法はコスト低減に非常に大きく寄与できる．また補強後の維持管理は橋脚内に鋼棒を埋め込むため，頭部に腐食が発生しないようにする以外に不要である．

ただしこの工法が万能という訳ではなく，橋脚上面からの施工が可能であっても挿入本数が限られる場合が多く，耐震性能が確保できるか十分な検討が必要である．

耐震性能が確保できない場合には，従来工法での検討も必要となる．そのため従来工法に加え選択肢が増えたと考えるべきであるが，この工法が適用可能な場合は多くの利点が得られる．最後に工法開発はｼﾞｪｲｱｰﾙ総研ｴﾝｼﾞｱﾘﾝｸﾞ他3社で進められた．関係各位に謝意を表します．

1)　徳永光宏，他：鋼棒挿入による無筋コンクリート橋脚打継部の耐震補強効果,土木学会第 64 回年次学術講演会(平成 21 年 9 月)

2)　徳永光宏，他：鋼棒挿入による無筋コンクリート橋脚の耐震補強,日本鉄道施設協会誌 Vol.48 2010.5

3)　永井伸吾，矢島学他：無筋コンクリート橋脚を有する鉄道橋梁の耐震補強―鋼棒後挿入工法の適用―,土木学会第 66 回年次学術講演会(平成 23 年 9 月)

(2014. 10.21　受付)

DEVELOPMENT OF SEISMIC RETROFITS METHOD TO NON-REINFORCEMENT CONCRETE PIER

Shinjirou OMOTO,Takayoshi NISHIMURA

Seismic retrofits method suitable for bridge pier and abutment of non-reinforcement concrete,which is often used in the railway has been developed.The developed method is drillings onto pier and abutment, and inserting the steel material. Method that was developed is simple,significant cost reduction is possible.It shows the details of the development,to perform cost estimates,we introduce the advantage over conventional construction methods.