

報告 RC 補強橋脚の施工性に関する研究

閑上直浩^{*1}、藤井學^{*2}、安田扶律^{*3}、幸左賢二^{*4}

要約：震災で損傷したRC橋脚の再構築・補強工事に対し、施工性確認のため、従来に比べ大幅に増加する帶鉄筋・中間帶鉄筋の施工法、鋼板設置方法、コンクリート配合等を検討した。再構築時の帶鉄筋等の施工法として、矩形及び円形タイプ各々について作業性・構造特性を考慮した適切な施工法を選定した。使用コンクリートとしては、鉄筋量が大幅に増加する再構築時でも、スラブ8cm程度の普通コンクリートで良好な施工が可能である。補強の際の旧躯体と補強鋼板間の充填コンクリートとしては、同程度の単位水量で高性能AE減水剤添加によりスラブを18cm程度とした中流动コンクリートが望ましいという結果が得られた。

キーワード；兵庫県南部地震、復旧仕様、RC橋脚補強、中流动コンクリート、施工性確認

1. はじめに

兵庫県南部地震によって被災した阪神高速道路3号神戸線のRC橋脚の再構築ならびに補修・補強工事は、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」に基づいて設計している。同仕様によると、再構築RC橋脚では、従来に比べ帶鉄筋・中間帶鉄筋を大幅に増加させることになり、鉄筋の組立などにおいて作業が困難となることが予想された。また、RC・鋼板巻立て併用工法によるRC橋脚補強工事においても、新規の補強鉄筋が多数存在する300mm程度の空隙に充填コンクリートを確実に打設するためには事前に十分な検討が必要である。本報告は、復旧工事を円滑かつ確実に行うため、配筋手法、鋼板設置方法、コンクリート配合等を検討項目とし、復旧仕様に基づいた実物大のモデル試験体の施工性確認試験を実施し、再構築に関する「復旧仕様に基づく橋脚の施工性」と既存橋脚の補強に関する「RC橋脚補強の施工性」について確認した結果を報告するものである。

2. 施工性確認試験体及び検討項目

試験体は、実構造物規模のRC橋脚柱とし、断面形状は、復旧仕様の矩形断面（同仕様：図-5.3.1）及び円形断面（図-5.3.2）の2種類を基本とした。寸法は円形断面の場合は直径3m・高さ6m、矩形断面の場合は3×3m・高さ6mとした。また、補強の施工性確認試験においては、この再構築試験体を活用することとし、同試験体の周囲に矩形もしくは円形断面でRC・鋼板巻立て併用工法による橋脚補強を行い、各種条件について検討した。

検討項目は、再構築時の鉄筋（帶鉄筋、中間帶鉄筋、せん断補強筋）の組立方法及びコンクリートの種類と充填性の確認、補強時の鋼板設置方法、コンクリートの種類及び充填性の確認である。試験体条件を図-1及び表-1に示す。

*1：阪神高速道路公団 工務部設計課技術係、工修（正会員）

*2：京都大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

*3：阪神高速道路公団 工務部設計課技術係長、工修（正会員）

*4：阪神高速道路公団 神戸線復旧建設部工事課専門役、Ph. D.（正会員）

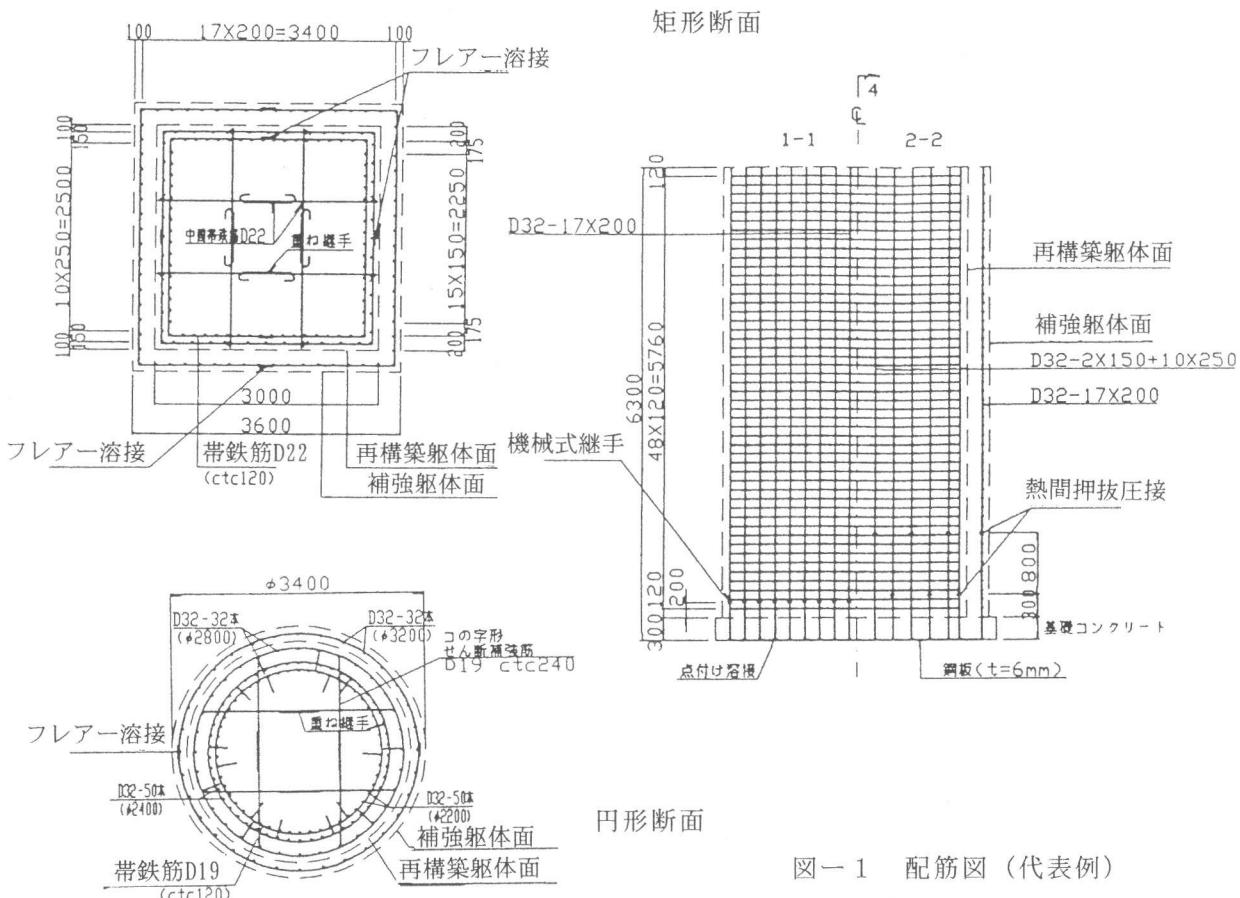


図-1 配筋図（代表例）

表-1 試験体条件

試験体		再構築			橋脚補強	
No	断面	使用コンクリート	帶鉄筋の組立方法	中間帶鉄筋 及びせん断補強筋の組立法	鋼板の取付方法	充填コンクリート
1	矩形 2段配筋	普通 コンクリート	標準法：2分割フック式	標準法の改良： 鋭角+半円形フック	支保工法	普通 コンクリート
2	矩形 2段配筋	中流動 コンクリート	提案法①：4分割フック式 提案法②：2分割フレア-溶接	提案法①：コの字型分割式 提案法②：鋭角フック分割式	アンカー 活用法	中流動 コンクリート
3	円形 3段配筋	中流動 コンクリート	標準法：2分割フック式 提案法①：3分割フック式 提案法②：2分割フレア-溶接式	標準法（せん断補強筋） コの字型分割式	支保工法	中流動 コンクリート

3. 復旧仕様に基づく橋脚の再構築に関する施工性確認試験

3. 1 鉄筋の組立

帶鉄筋、中間帶鉄筋及びせん断補強筋の組立は、各種の鉄筋が錯綜するため、鉄筋組立作業そのものが困難である、また、組立が可能であっても作業効率が著しく低下する、さらにはコンクリートの充填が困難となるなどの問題が懸念される。本検討では、復旧仕様に準拠した「標準法」を基本とし、種々の検討を加えて施工性を考慮した「提案法」と比較することとした。鉄筋組立方法の詳細を表-2に、施工性確認試験結果を表-3に示す。

帶鉄筋は、矩形タイプの場合、標準法である2分割フック式では内外両側の帶鉄筋の鋭角フッ

クが重なるため建込作業が困難であった。4分割フック式は標準法に比べて1本あたりの長さが短いため取扱いは容易であるものの、内外両側の鋭角フックが重なる部分でのコンクリートの充填性が懸念されたが、後述の断面切斷観察の結果によると、良好な充填状態であった。2分割フレア一溶接式は作業時間が若干増加するものの、構造上の問題がない良好な工法であると判断した。

円形タイプの場合、3分割フック式は鉄筋1本あたりの長さが短いため作業性が優れ、構造上の問題もない工法であった。また、2分割フレア一溶接式も良好であった。標準法である2分割フック式は構造上の問題はないものの、3分割式に比べると、取扱いが困難な場合があった。中間帶鉄筋に関しては、原案では鋭角+直角フック1本式であったが、中間帶鉄筋を後から施工する通常の作業方法では折曲げ長15φの直角フックの差込みが出来ないため半円形フックを考案して、検討を行った。作業上の問題はなかったが、組立が可能なように鉄筋を長くすると、帶鉄筋とフックの間に遊びが生じるといった構造上の問題が確認された。また、コの字型分割式は、主鉄筋の間隔を変えなければ差込み作業が出来なかった。柱内部で重ね継手を用いる鋭角フック分割式は鉄筋長が標準法に比べて短いため、作業性に優れていることに加え、中央部がフック付き重ね継手であるため良好な定着状態とすことができ、構造的にも優れた

表一2 帯鉄筋及び中間帶鉄筋の組立方法

区分	鉄筋組立方法と設定の考え方	
帯鉄筋 矩形	標準法：2分割フック式	
	提案法①：4分割フック式 4分割することにより、標準法に比べて組立作業時の取り扱いを容易にする。	
	提案法②：2分割フレア一溶接式 継ぎ手部分をフレア一溶接することにより、標準法に比べて建込作業を容易にする。	
帯鉄筋 円形	標準法：2分割フック式	
	提案法①：3分割フック式 3分割することにより、標準法に比べて組立作業時の取り扱いを容易にする。	
	提案法②：2分割フレア一溶接式 継ぎ手部分をフレア一溶接することにより、標準法に比べて建込作業を容易にする。	
中間 帶鉄筋 矩形	標準法：鋭角+半円形フック(1本式) 原案は鋭角+直角フック1本式であったが通常法（中間帶鉄筋を後に施工）では、直角フック（折曲長15φ）の差込ができないため可能な半円フックを考案した。	
	提案法①：コの字型分割式 中央部をフック付き重ね継手にすることにより、主鉄筋に遊びなしで定着可能のように考案した。	
	提案法②：鋭角フック分割式 分割式で中央部をフック付き重ね継手にすることで、主鉄筋に遊びなしで定着可能のように考案。	
せん断 補強筋 円形	標準法：コの字型分割式	

組立方法である。なお、矩形断面の4分割フック式及び円形断面の3分割フック式では、フックが特定箇所に集中するが、この点に関しては、他機関で実施された実験結果（未公表）を参考に、フック位置が耐力及び韌性に及ぼす影響が小さいものと判断した。円形タイプの場合のせん断補強筋は、標準法であるコの字型分割式では3段配筋という条件下では鉄筋の建込作業が困難であった。

表-3 鉄筋組立方法の施工性確認試験結果

区分	組立方法	施工性確認試験結果	作業効率 (人工/1段)	評価
帯鉄筋 矩形タイプ	2分割フック式 (標準法)	コーナー部で外側フックが帶鉄筋に干渉し、建込み作業が不可能。組立可能なように加工すれば外側のフック長が正規の値にできない。	作業不可能	作業・構造上の問題から適用困難
	4分割フック式	標準法に比べ作業は容易である。コーナー部で外側と内側のフックが重なるため、コンクリートの充填性が懸念されたが、断面切斷による観察の結果、良好な状態であった。	0.082	良好
	2分割フレアー溶接式	作業及び構造上も問題がない。	0.117	良好
帯鉄筋 円形タイプ	2分割フック式 (標準法)	構造上は問題がないが、3分割フック式に比べると、取扱いが困難な場合がある。	0.125	提案法に比べると、やや劣る。
	3分割フック式	作業及び構造上も問題がない。	0.118	良好
	2分割フレアー溶接式	作業及び構造上も問題がない。	0.197	良好
中間帯鉄筋 矩形タイプ	鋭角+半円形フック (1本式:標準法)	作業上の問題はないが、鋭角+半円形フックのため、組立可能な形に加工すれば帶鉄筋との間に遊びができる。	-----	やや問題がある。
	コの字型分割式	主鉄筋の間隔を変えることが出来なければ鉄筋の差込み作業が出来ない。	0.127	作業上、問題がある。
	鋭角フック分割式	作業及び構造上も問題がない。 標準法に比べると、取り扱いが容易である。	0.056	良好
せん断補強筋 円形タイプ	コの字型分割式 (標準法)	3段配筋であるため、鉄筋の差込作業がしづらい。	0.077	作業上、問題がある。

3. 2 使用コンクリート

再構築RC橋脚では帶鉄筋・中間帶鉄筋が大幅に増加しているため、コンクリートの締固め作業に悪影響を及ぼす可能性が考えられた。その対策として、コンクリートに流動性を付与することが必要か否かを検討した。

使用コンクリートは、通常の普通コンクリート（粗骨材最大寸法20mm、設計基準強度270kgf/cm²、スランプ8cm）を基本とし、これと比較する形で、高性能AE減水剤を使用することにより同等の単位水量でスランプ値を18cmに増加させた中流動コンクリートを用いた。また、後述のRC・鋼板巻立て併用工法に関する検討においては、施工間隙等から流動性がより重要になると考えられるが、生コンクリート供給上の制約から、いわゆる高流動コンクリート（スランプフロー55～65cm程度）は対象とせず、前述の普通コンクリートと中流動コンクリートを比較することとした。なお、中流動コンクリートという用語は、通常の普通コンクリートと同等の単位水量という条件下で、高性能AE減水剤を添加することによりスランプを18cmに増大させたコンクリートを表すために用いたものであり、高流動コンクリートと区分するために使用した。

試験練りにより決定した示方配合及び試験結果を表-4に示す。これらのコンクリートを使用し3体の実物大試験体を作製した。柱中央部にコンクリートを上部からポンプにより打設し、長尺バイブレータにより締固めを行った。脱型後、コンクリート表面の目視観察を行ったところ、微

細なクラックや気泡等が認められたものの、通常の普通コンクリートおよび今回検討した中流動コンクリートとも充填状況は良好であった。したがって、再構築に関しては、経済性を考慮し、通常の普通コンクリートを標準とした。

表-4 コンクリートの示方配合及び試験練り結果

コンクリートの種別	設計基準強度 kgf/cm ²	Gmax (mm)	スラシンプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	示方配合					試験練り結果				
							単位量 (kg/m ³)					スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
							水セメント骨材	細骨材	粗骨材	A/E減水剤種別	量			7日	28日	
RN272B	270	20	8	4.5	50	44.0	166	332	770	1007	標準型	0.830	6.5	4.9	294	386
(RN272B) 中流動	270	20	18	4.5	50	46.0	166	332	806	970	高性能	6.97	20.0	4.0	323	418

4. R C・鋼板巻立て併用工法による橋脚補強に関する施工性確認試験

4. 1 補強鋼板の施工精度・施工性

補強鋼板の設置方法を検討した結果、①支保工法と②アンカー活用法を用いることとし、両工法の施工精度・施工性の確認を行った。詳細を以下に示す。

①支保工法：鋼板の建込に最小限のメカニカルアンカーを使用するが、鋼板の保持は支保工で行う。新コンクリートと鋼板との一体化はスタッドジベルの効果に、また、新旧コンクリートの一体化は、表面処理による付着効果に期待する。鋼板寸法は、高さ1.5mで円周方向に4分割した形状とした。

②アンカー活用法：鋼板固定用アンカーを旧コンクリートに打ち込み固定することにより、新旧コンクリートの一体化も図る。旧コンクリートへのアンカーの固定方法としては、鋼板に穴をあけ、外側より皿ボルト等を使用して旧コンクリートに固定する方法を当初検討したが、あらかじめ鋼板に穴をあけた場合のアンカー位置とのマッチング等に問題があるため、継ぎボルトを介して溶接する方法を採用した。鋼板寸法は、円周方向に4分割する点は①と同様であるが、アンカー関係の溶接作業の制約から高さ0.5mとした。

施工性確認試験結果を表-5に示す。いずれの場合も資材の搬出入はレッカーを使用して上部からの吊り込み作業を行った。表に示した作業効率測定結果によると、施工性に関しては支保工

表-5 鋼板設置時の作業効率測定結果

(作業量は、人・hで表示)

作業内容	試験体	矩形タイプ		矩形タイプ		円形タイプ	
		支保工法		アンカー活用法		支保工法	
		施工数量	作業量	施工数量	作業量	施工数量	作業量
鋼板建込用アンカー打設		96本	22	336本	41	96本	23
鋼板建込（施工面積）		8.9m ²	74	8.6m ²	114	6.4m ²	56
鋼板溶接（水平継ぎ目）		4.4m	9	1.58m	31	3.2m	6
鋼板溶接（鉛直継ぎ目）		2.4m	12	2.4m	13	2.4m	13
支保工設置・撤去		4.8t	102	----	----	0.3t	36
継ぎボルト溶接		----	----	336本	43	----	----
全作業量（人・h）		----	219	----	242	----	134
施工性（全作業量/施工面積）		2.46人・h/m ²		2.81人・h/m ²		2.09人・h/m ²	

法の方がアンカー活用法よりも若干優れていた。支保工法においては支保工の設置・撤去に関する作業時間が、アンカー活用法では溶接作業が占める時間数が大きかったが、両工法とも、作業性に関して特に問題点はなかった。資材の搬出入にレッカーが使用でき、上部から吊り込み可能という条件下では、支保工法の方が若干短くてすみ、また工費の面でも有利であった。また、出来上がりも、水平継ぎ目から若干のセメントペーストのにじみが見られたが、これはコンクリート打設前にテーピングをする等の対策で処理できるものであった。いずれの方法も作業上及び出来上がりにおいて、特に大きな問題がなく、採用可能という結論が得られたため、補強工事では、上部空間の確保の可否等、対象構造物の立地条件を考慮して作業方法を選択することとした。

4. 2 充填コンクリートの確認試験

鋼板と旧躯体の間の約300mmの空隙に充填するコンクリートとして、再構築と同様、普通コンクリートと中流動コンクリートを比較した。ポンプを使用してコンクリートを打設し、バイブレータを挿入して締固めを行った。充填状況の確認は、テストハンマーを用いたたき点検法（打音法）により実施した。その結果、普通コンクリートを使用した場合、打音に変化が認められた面積が鋼板面積の約24%に達していたのに対し、中流動コンクリートを用いた場合では約0.4%であった。この結果を踏まえ、充填用コンクリートとしては、中流動コンクリートを標準とした。

4. 3 ワイヤーソーによるコンクリート切断面の観察

新旧コンクリートの打継目と付着性、鉄筋との付着性等を確認するため、ワイヤーソーにより試験体断面の切断を行い、切断断面を観察した。いずれの場合も良好な付着状況を示していることが確認できた。

5.まとめ

- 1) 再構築時の帯鉄筋は、矩形タイプの場合は4分割フック式及び2分割フレアー溶接式が、円形タイプの場合は、3分割フック式及び2分割フレアー溶接式のいずれもが作業上・構造上とも問題のない工法であった。中間帯鉄筋は、差込作業が容易で確実な定着が得られる工法として、柱内部の定着部を真っ直ぐにし、重ね継手による十分な定着長を確保した鋭角フック分割式を採用した。
- 2) 再構築に関しては、鉄筋量が大幅に増加するものの、スランプ8cm程度の普通コンクリートで確実な施工が出来ることが確認できたため、これを標準とした。
- 3) R C・鋼板巻立て併用工法の充填コンクリートは、打音検査による確認の結果、変音箇所が普通コンクリートでは約24%、中流動コンクリートではほぼ0%と、充填性に差が認められた。スランプ18cm程度の中流動コンクリートを標準とすることが望ましいという結果が得られた。
- 4) 補強鋼板の施工性確認試験の結果、支保工法及びアンカー活用法とも、作業上・出来上がりにおいて特に大きな問題はなく、いずれも採用可能であった。

参考文献

- 1) 建設省通達「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」、平成7年2月
- 2) 阪神高速道路公団・（株）中研コンサルタント、「橋脚の再構築・補強に関する施工性確認実験業務」報告書、平成7年8月