

◆ コンクリート特集 ◆

補修したPC部材の曲げ強度

渡辺博志* 河野広隆** 田中良樹***

1. はじめに

断面修復工法はコンクリート部材の最も一般的な補修方法のひとつであり、これまでも多くの実績を有している。RC部材の引張側断面修復では、設計上、引張応力を受けるコンクリートの寄与を無視しているため、断面修復が部材の耐荷性能に及ぼす影響は一般に小さい¹⁾と考えられる。しかし、PC部材では断面にプレストレスによる圧縮応力が作用していて、全断面有効として設計を行っているため、断面下縁側のコンクリートをはつり落とした場合、部材の耐荷性能は断面修復を行うことにより、プレストレスの減少などの影響が懸念される。ところが、PC部材のはつり・断面修復の影響は必ずしも明確にはされていない。

ここでは、断面下縁側に断面修復を施したPC供試体を製作し、載荷試験により、その耐荷性能について検討を行った。

2. 実験概要

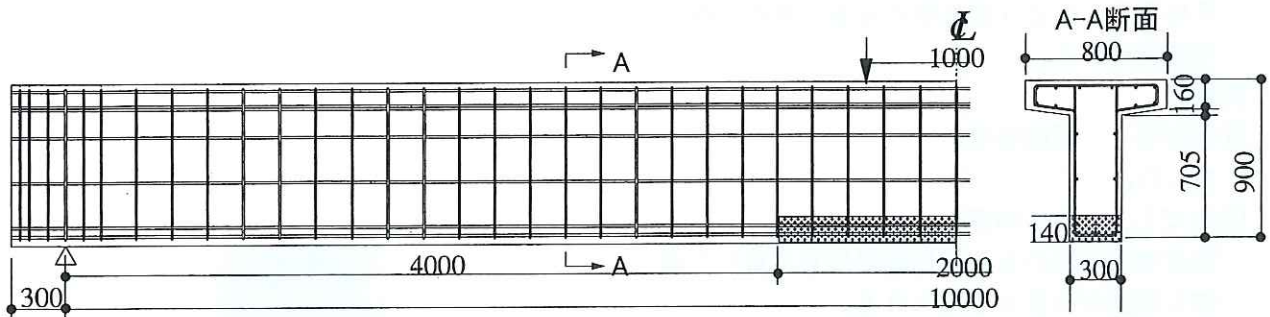
供試体は3体のプレテンションPCはり部材であり、はつりおよび断面修復を施していない元部材(No.1)、ポリマーセメントコンクリートで断面

修復したもの(No.2)および、エポキシ樹脂コンクリートにより断面修復を行ったもの(No.3)である。はつり・断面修復を行った個所は、断面下縁から14cmで、はりのスパン中央部の長さ2mの区間である。図-1に供試体の概略寸法およびはつり・断面修復を行った個所(黒ハッチをほどこした箇所)を示す。はつりはブレーカによりPC鋼材に損傷を与えないよう注意深く行ったが、一部のPC鋼より線に破断が生じた。表-1にはつり後のPC鋼より線の損傷位置およびPC鋼材の断面欠損率を示す。断面をはつり落とした個所には、木製型枠を設置した後、粗骨材を詰め、空隙にポリマーセメントあるいはエポキシ樹脂を充填し、断面修復を行った。

供試体に配置したPC鋼材は断面下縁側に6本であり、プレストレス導入直前のPC鋼材の引張

表-1 はつりによるPC鋼材の損傷状況

供試体	PC鋼材破断状況	断面欠損率
No.2	支間中央から20cm位置で7本よりの内1本 支間中央から50cm位置で7本よりの内2本	7%
No.3	支間中央から90cm位置で7本よりの内1本	2%



* PC鋼材は下縁側6本：SBPR7B15.2鋼より線
 * 軸方向鉄筋はD13異形棒鋼
 * スターラップはD10で端部を除き200mm間隔で配置

図-1 供試体の概要 (単位：mm)

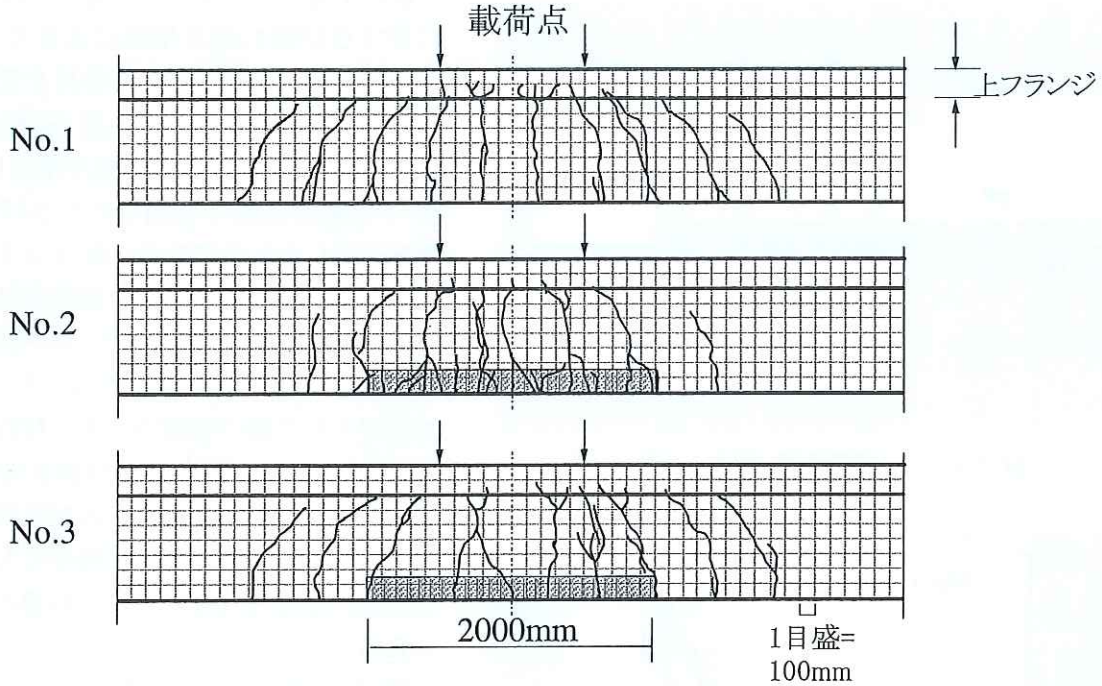


図-2 供試体のひび割れ状況

応力は 1.33kN/mm^2 である。コンクリートの弾性変形・クリープ等によるプレストレスの損失を考慮すると、有効プレストレスにより断面上縁・下縁に発生する応力の予測値は、自重の影響を含めた場合それぞれ 1.5N/mm^2 (上縁引張) および 8.9N/mm^2 (下縁圧縮) である。

表-2 に供試体に用いたコンクリートおよび補修材料の強度試験結果を示す。

荷重は 2 点曲げ荷重とし、ひび割れ発生を確認した時点で一旦除荷した後、再度荷重を増加させ破壊に至るまで荷重を継続した。測定項目は、①はり供試体の変位、②断面下縁に取り付けた π ゲージによるひび割れ幅、③等モーメント区間両端に取り付けた傾斜計による平均曲率である。

3. 荷重試験結果

3.1 ひび割れ発生状況

図-2 は終局時までに発生した供試体のひび割

表-3 ひび割れ発生荷重

供試体	発生荷重	発生位置
No.1	355kN	スパン中央付近
No.2	125kN	補修区間内 (補修材)
	290kN	スパン中央付近 (コンクリート)
No.3	145kN	補修材打継ぎ箇所
	260kN	スパン中央付近 (コンクリート)

れ状況を示したものである。ポリマーセメントコンクリートで補修した供試体 No.2 では、補修部分に微細なひび割れが多く発生していることが認められた。エポキシ樹脂コンクリートで補修した No.3 では、このような微細ひび割れは観察されなかった。なお、No.2 供試体に見られた微細ひび割れの多くは、補修区間内にとどまっていた。

図-3 に供試体 No.1、No.2 の下面の π ゲージ取り付け位置を示す。供試体 No.3 では補修部分にひび割れの発生はないものと予想し、補修部分と

表-2 使用材料の強度試験結果

供試体番号	コンクリート				補修材			
	試験材齢日	圧縮強度 N/mm^2	割裂強度 N/mm^2	ヤング係数 kN/mm^2	種類	試験材齢日	圧縮強度 N/mm^2	曲げ強度 N/mm^2
No.1	15	59.4	3.94	31.9				
No.2	34	64.2	4.21	33.5	(1)*	8	25.9	5.21
No.3	33	65.6	3.71	34.1	(2)*	12	64.6	14.26

注* 補修材 (1) : ポリマーセメントコンクリート、補修材 (2) : エポキシ樹脂コンクリート

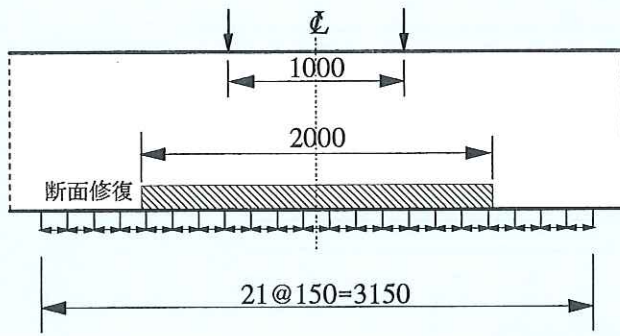


図-3 πゲージ配置位置 (単位: mm)

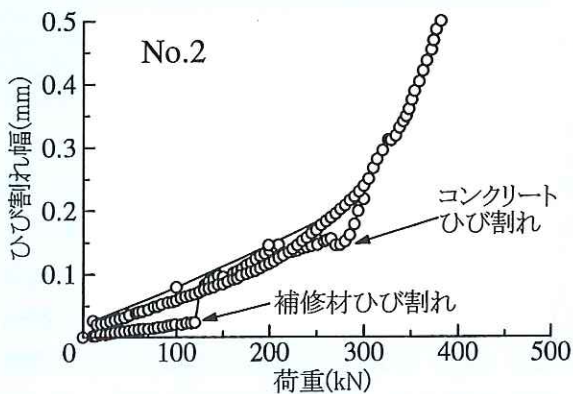
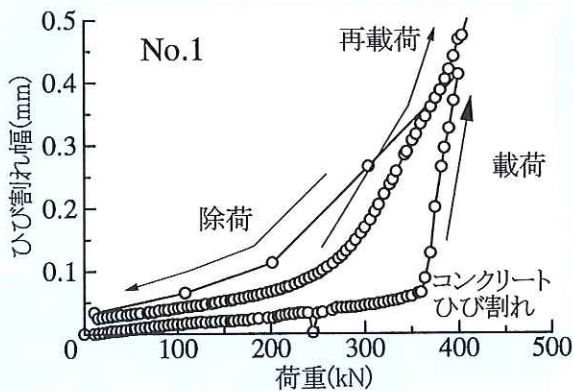


図-4 荷重とひび割れ幅の関係

コンクリートの鉛直打ち継ぎ目部分にπゲージをとりつけ、補修区間内にはπゲージはとりつけていない。しかし、載荷試験を実施したところ、補修区間にもひび割れが発生したため、ひび割れ荷重除荷後ひび割れ位置に合わせてπゲージをとり付けた。

図-4は供試体 No.1、No.2について等曲げモーメント区間で最もひび割れ幅が大きかった地点でのひび割れ幅と荷重の関係を示したものである。

供試体 No.2では、125kNの時点で補修材にひ

び割れが発生したが、この時点では荷重増加に伴うひび割れ幅の増加はあまり大きくない。しかし、ひび割れが補修材を貫通し、コンクリートにまで進展した後(荷重が290kN以降)は、急速にひび割れ幅が増加し始めた。表-3は載荷試験で観測されたひび割れ発生荷重を示したものである。表-2による、供試体 No.2およびNo.3では、補修材料の曲げ強度がかなり異なっているが、ひび割れ発生荷重はあまり差がない結果となった。これは、補修材として曲げ強度の大きい材料を用いたNo.3において、最初のひび割れ発生位置が補修材と母材コンクリートの鉛直打継ぎ目部分であり、補修材料の曲げ強度の大きい利点が十分に生かされなかったためであると考えられる。

図-5に測定したひび割れ幅の分布状況を示す。なお、図-5の供試体 No.1、No.2において、検長区間にひび割れを含んでいないπゲージの測定値は省略している。図-5の横軸ははりの中央からの距離を表していて、供試体 No.2およびNo.3の断面修復した区間は-1.0~1.0mまでである。この結果を見ると、供試体 No.1に比べNo.2では断面修復した区間でのひび割れ幅が非常に大きくなっているが、断面修復の外側の区間でのひび割れ幅はむしろ小さくなっていることがわかる。

一方、引張強度の大きいエポキシ樹脂コンクリートにより断面修復した供試体 No.3は、断面修復を行っていない供試体 No.1よりも全般的にやや大きいひび割れ幅を示していた。特に、荷重が350kN、および400kNではNo.1よりもひび割れ幅は大きくなっていた。断面修復を行った供試体 No.2、No.3とも、荷重の増加に伴い、補修材の鉛直打継ぎ面にひび割れが集中することはなかった。

3.2 断面はつりによるプレストレスの損失

図-6に荷重変位関係を示す。これによると、断面修復を行った供試体では初期剛性がやや小さく、ひび割れ発生荷重も小さくなっていて有効プレストレスが減少していると考えられる。ここでは、断面はつりによるプレストレスの減少量について検討を行う。

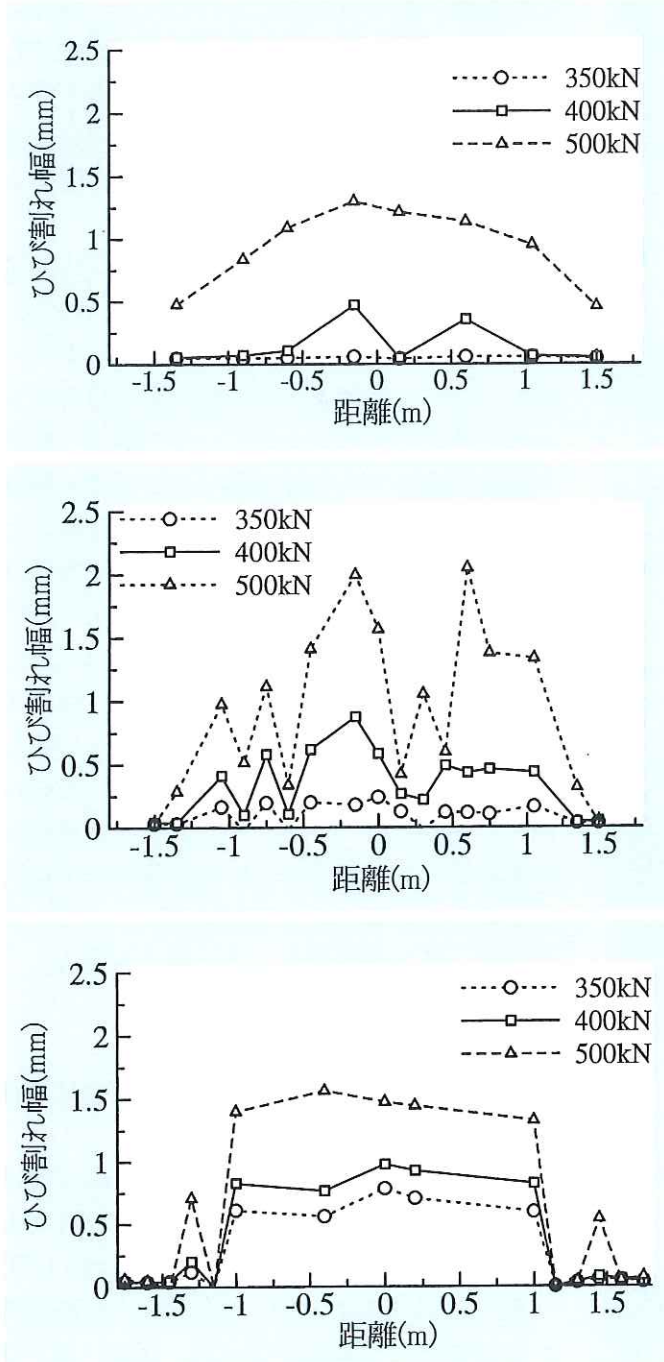


図-5 ひび割れ幅分布

プレストレスの減少量を、次の方法で算定することとした。供試体 No.1 で弾性変形およびクリープ乾燥収縮を考慮した有効プレストレスの計算を行った。

次に、はつりを行った供試体 No.2, No.3 について供試体 No.1 の有効プレストレス時の PC 鋼材の緊張力を、補修 PC 供試体の PC 鋼材の初期緊張力とし、はつり後の断面にこの緊張力が作用したと仮定し、再度コンクリートの弾性変形に伴うプレストレスの損失のみを考慮し(クリープによるプレストレスの損失は無視)、はつり後の有効

プレストレスとした。断面はつりにより、PC 鋼材が 2m の区間に渡って露出したため、厳密には PC 鋼材とコンクリートの平面保持の仮定は成立しないと思われるが、ここでは、計算の簡略化のため平面保持を仮定した。なお、有効プレストレスの計算において断面修復材の寄与は無視することとした。

この計算結果によると、はつりによるコンクリートの断面欠損と PC 鋼線の損傷により減少した PC 鋼材の緊張力は供試体 No.2 で 14% であり、供試体 No.3 で 10% であった。

ひび割れ発生荷重 (供試体 No.1 では断面下縁、供試体 No.2, No.3 では補修部分のコンクリート母材の下縁) を比較した結果、断面修復を施していない部材では 330kN、断面修復を施した No.2, No.3 では 289kN であり、表-3 に示す実験結果とほぼ一致していた。

3.3 終局強度と変形性能

供試体はいずれも PC 鋼材の破断によって耐荷力を失った。

最大荷重は補修を施さない供試体 No.1 がもっとも大きく、供試体 No.2, No.3 は耐荷力がわずかに劣っていた。ただし、図-6 に示したように、破壊時のスパン中央変位にはかなり大きな差が生じていて、断面修復を施した供試体では変形性能が劣る結果となっていた。供試体 No.2 では、荷重による PC 鋼材の破断位置は、断面はつりの際に発生した PC 鋼材の破断位置とおおよそ一致していた。このことから、供試体 No.2 では断面はつりの際に PC 鋼より線の一部断線位置にひずみが集中したことが原因となって部材の終局変位が小さくなったことが考えられる。

一方、供試体 No.3 では、荷重の荷重による PC 鋼材の破断位置は、必ずしもはつりによる PC 鋼材破断位置と一致していない。従って、供試体 No.3 で変形性能が低下した理由は明確ではないが、断面のはつりを行った際に、PC 鋼より線に何らかのきずを与えたために、PC 鋼より線の伸び能力が低下した可能性があると思われる。

図-7 は、上記の仮定に基づいて算出した等曲げ区間における曲げモーメントと曲率の関係を示したものである。なお、曲率の実験値は等曲げモーメント区間の両端に取り付けた傾斜計で測定した

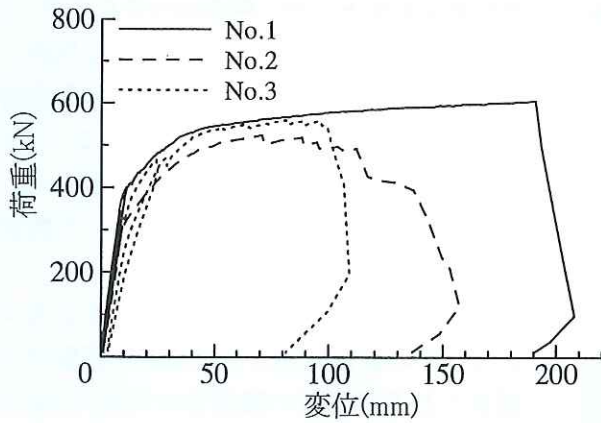


図-6 荷重変位関係

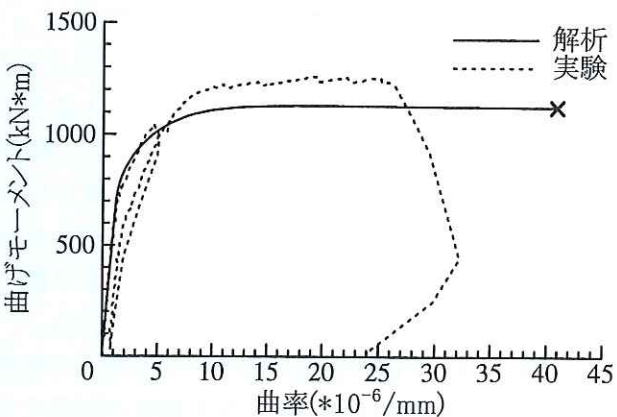
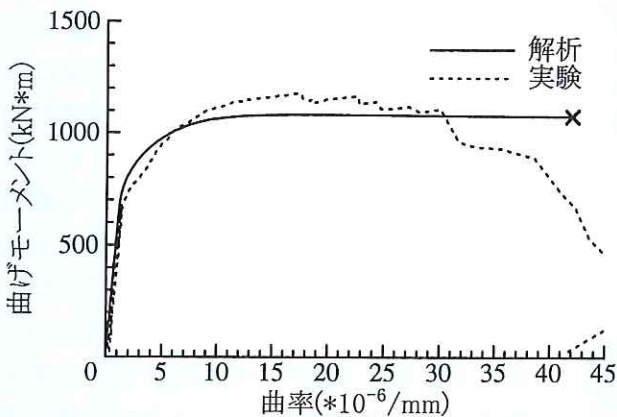
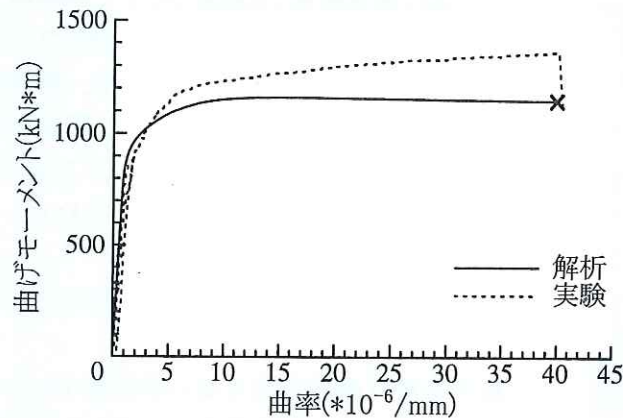


図-7 曲げモーメント曲率の関係
(上から供試体 No.1, No.2, No.3)

たわみ角の差から求めたものである。解析においては、平面保持の仮定を用いるとともに、補修した部材については、はつりによるプレストレスの減少と PC 鋼材の断面欠損を考慮している。断面修復部の補修材料は、解析上無視している。

計算結果は実測結果に比べると終局時の曲げモーメントを、やや小さく評価しているが、曲率が小さい範囲での初期勾配はおおよそ一致していて、ほぼ適切な計算結果が得られていると考えられる。ただし、PC 鋼材の断面欠損率が大きかった供試体 No.2 では実測値と解析値の差は小さくなっている。このことから、終局強度に及ぼす断面修復の影響はほとんどなく、むしろ、はつり作業に伴う PC 鋼材の損傷の方が影響は大きかったといえる。

なお、供試体 No.1 では、破壊時の曲率の値が実験と解析でおおよそ一致しているが、実験では PC 鋼材の破断で終局を迎えたのに対し、解析上はコンクリートの圧壊を終局と定義していて、想定している破壊モードは同じではない。従って、供試体 No.1 での終局曲率の一致は偶然であったと考えられる。

4. まとめ

今回試験を行った範囲から得られた結果は次のとおりである。

- (1) 断面修復を行った PC 部材の終局曲げ強度は断面修復を行っていない PC 部材とほぼ同じであったが、はつり作業時の PC 鋼材の破断本数の多い供試体ほど終局強度は低下する結果となった。なお、はつり作業時の PC 鋼材への損傷は、PC 部材の強度面よりは変形性能に及ぼす影響の方が顕著である。この原因として、はつり作業における PC 鋼材への損傷により PC 鋼材の伸びの低下が考えられる。終局強度に及ぼす影響は、はつりに伴う PC 鋼材への損傷を除くと、ほとんどないものと考えられる。

このことから、実構造物の断面修復にあたっては、はつり作業において鋼材に損傷を与えないよう細心の注意を払うことが重要となる。

- (2) 断面修復部でのひび割れは、修復材によって異なり、修復材の引張強度が関与していると思われる。ただし、ひび割れ幅が急速に増加するのは、コンクリートにひび割れが発生した後である。修復材の鉛直打継ぎ部にひび割れが集中することはなかった。
- (3) 断面はつりによるプレストレスの減少量の概略値は、はつり部分を考慮した簡易な計算で把握することが可能である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所コンクリート研究室：コンクリート橋の補修に関する調査試験報告書, 土木研究所資料第 2602 号, 1988.3

渡辺博志*



独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム主任研究員
Hiroshi WATANABE

河野広隆**



同 構造物マネジメント技術チーム主席研究員
Hirotaka KAWANO

田中良樹***



同 構造物マネジメント技術チーム研究員
Yoshiki TANAKA