

◆特集：橋梁の維持管理・補修補強◆

洗掘による道路橋基礎の被害実態とその対策

石田雅博* 野々村佳哲** 福井次郎*** 大塚雅裕****

1. はじめに

我が国が保有する橋梁はおよそ14万橋に達し、近い将来、大規模な更新の時期を迎えることが想定される。このため、これら橋梁に限られた予算の中でいかに合理的に維持管理していくかが大きな課題となっている。特に橋梁下部工は、河川などの水中部や土中部に設置されており損傷の発見や補修が困難であるため、より合理的な維持管理手法が求められている。

橋梁下部工に損傷が生じる原因としては、地震、洪水、地盤変状（地すべり、土砂災害など）による被害、船舶・車両の衝突などがある。これらの中で、洪水により被害を受ける橋梁の数は地震などの他の原因によるものに比べ圧倒的に多い（表-1）。また、基礎の補修・補強の要因としても洗掘が大半を占めている（表-2）。

洗掘は水中で生ずるため、その発見は困難であり、また全橋梁を対象として洗掘調査を行うことは現実的ではない。橋梁下部工を効率的に維持管理していくためには、洗掘被害を受けやすい橋梁を絞り込み、それらを中心に詳細な調査点検を行うことが望ましい。調査対象を絞り込むためには、構造物の諸元や地盤・河川条件などの各種項目について橋梁の被害実態と照らし合わせて要因分析

し、洗掘による被害の生じやすい橋梁を絞り込む手法が必要である。

絞り込んだ橋梁に対し、洗掘を調査した結果、洗掘を受けていることが判明した場合、保有耐力を算出し、健全度を評価することになるが、洗掘を受けた橋梁下部工の耐力を適切に評価する方法はいまだ確立していない。さらに、洗掘を受けた橋梁下部工の耐力を正しく評価できたとしても、洗掘は長期にわたり進行するものであり、時間的進行を考慮した安定性評価が必要となる。しかし、洗掘の時間的進行を観測したり予測したりすることは困難であるため、健全度評価に、前述の構造物の諸元や地盤、河川条件などの各種項目の要因分析を組み合わせることにより、洗掘の進行の影響を考慮せざるを得ない。

橋梁基礎周辺に生じる洗掘に対する維持管理としては、図-1に示す手順が考えられる。本報では、まず2章で洗掘による被害実態の例を示し、要因分析の可能性について述べる。続いて、3章で現在研究中の洗掘被災に関する要因分析、4章でこれまで開発してきた洗掘調査手法および洗掘監視装置、5章で補修・補強について述べる。

2. 洗掘による橋梁の被害実態

道路橋基礎の洗掘による典型的な被災の模式図を図-2に示す。流水中に橋脚が存在すると、その

表-1 橋梁の被災要因（平成4～11年）¹⁾

地震	洪水	地盤変状	その他
346件 (16.5%)	1,672件 (79.9%)	6件 (0.3%)	70件 (3.3%)

表-2 基礎の補修・補強要因²⁾

要因	件数	要因	件数
先掘	79	荷重増大	12
沈下	6	歩道橋添加	7
移動	7	車道拡幅	12
傾斜	10	上部工架替	1
変位	11	その他	18
断面欠損	7		

Damages of Bridge Foundations by Scour and Countermeasures Against Them

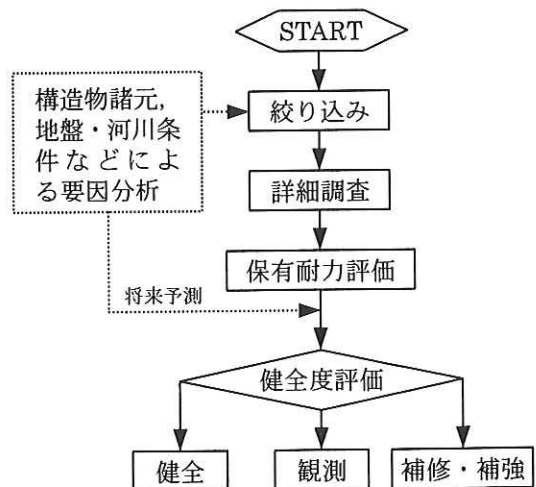


図-1 橋梁下部構造の維持管理の体系

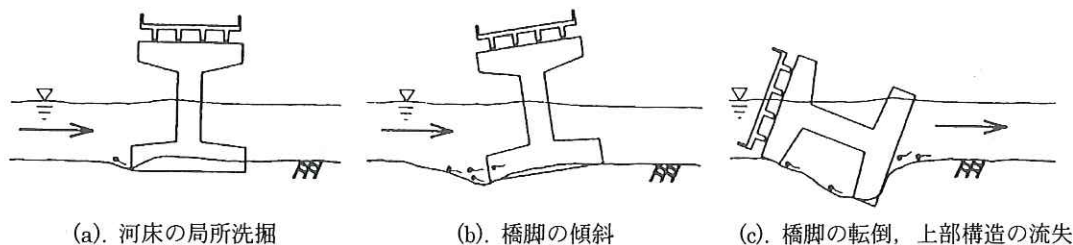


図-2 先掘の被害レベル

周辺で水流が乱される。特に、上流側では橋脚面に沿って下方へ潜り込む流れが発生し、それによる渦流で河床に堆積している土砂が流失することとなる(図-2 (a))。そのような局所洗掘が進行し、図-2 (b) のように基礎を支持する地盤の一部が流失すると、橋梁自体の自重により橋脚が傾斜する。更に進行すると、図-2 (c) のように橋脚が転倒し、それが支持していた上部構造が流失する。

近年では、平成10年8月26日から31日にかけて、一級河川的那珂川および阿武隈川の上流域にあたる栃木県北部および福島県南部において記録的な豪雨が発生し、道路橋に大きな被害が生じた³⁾。本豪雨では、洪水流により基礎が洗掘され、

写真-1のように橋脚が沈下・傾斜するような被害が数多く見られた。また写真-2のように橋台に変状が生じた事例や、橋台の変状により上部構造が流出した事例も見られた。

これらの事例を分析した結果、橋梁の構造条件、地盤・河川条件のいくつかの要因が洗掘の発生に関係していることが判明し、これらの要因を用いて洗掘発生の可能性を評価できることがわかった。

3. 洗掘被災の要因分析

効率的な洗掘調査を行うためには、多くの橋梁の中から洗掘されやすい橋梁を絞り込む必要がある。また、補修や補強の必要性を判定するためには、洗掘調査結果を基に将来の被災のしやすさを評価する必要がある。

洗掘されやすい橋梁を絞り込む手法として、平成8年度道路防災総点検(以下「H8点検」)の調査手法⁴⁾がある。H8点検では、洗掘に対する各種要因の影響度に対し、半統計的、半経験的に洗掘を助長する要因にはプラス点、抑制する要因にはマイナス点を付けて洗掘に対する橋梁の安定度を評価し、対策や詳細点検の要否の判断を行った。しかし、洗掘により被災した橋梁と被災しなかった橋梁の多数のアンケート調査のデータを用いてH8点検の結果を分析した結果、図-3に示すように被災した橋梁と被災しなかった橋梁の構成比分布にほとんど差がなく、評価の精度は十分でない



写真-1 洗掘による橋脚の傾斜

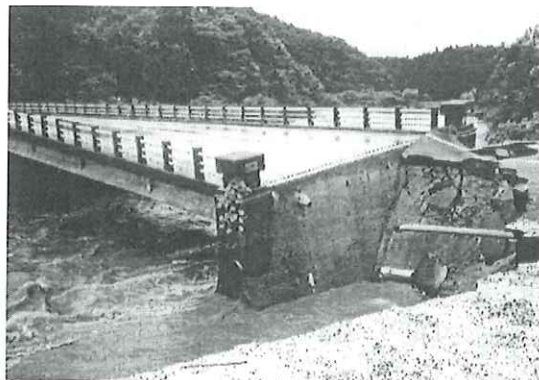


写真-2 橋台の変状

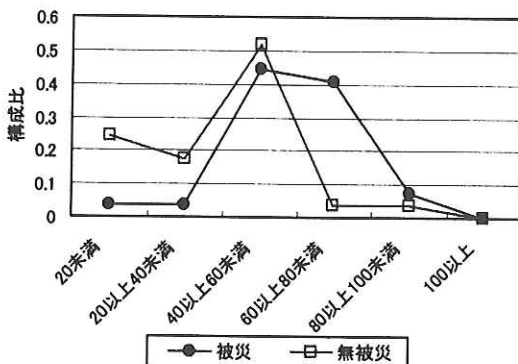


図-3 既往の調査表による配点結果

ことが判明した。そこで、アンケート調査データに対し、調査項目のうち被災に関連すると思われる調査項目を説明変数とし、被災ランクを目的変数として数量化理論（第Ⅱ類）による相関分析を行い、配点の見直しを行った。

アンケート調査では被災状況を7つに分類しているが、あまり細かく分類しても維持管理の上で意味がないことから、ここでは表-3に示すような5つの被災ランクに再分類し、調査項目と被災ランクの関係を整理した。ただし、複数の被災状況が報告されている場合は、より高い被災ランクにのみ含めることとした。

関連性が高いと思われる調査項目と被災ランクとの関係について、その一部を図-4、図-5に示す。図中の縦軸の比率とは、各被災ランクの中でのカテゴリの割合と全体でのカテゴリの割合との比率であり、1を超えると全体の平均よりも割合が高く、調査項目と被災ランクとの相関が高いことを示す。

また、H8点検の配点では橋脚と橋台について同じ配点としているが、橋脚と橋台では被災に関わる要因が異なる。そこで、調査表の配点を見直すにあたっては橋脚、橋台それぞれについて調査

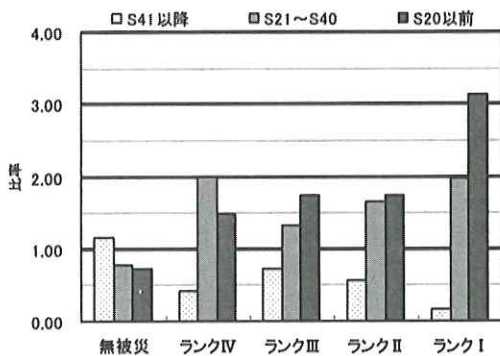


図-4 架設年代と被災ランク（橋脚）

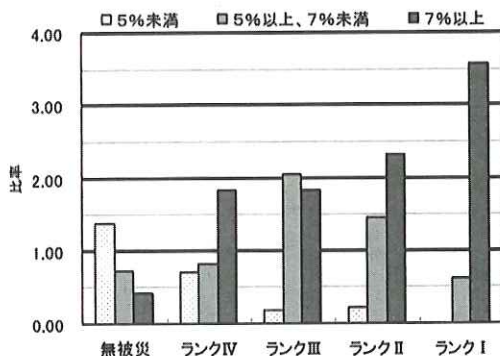


図-5 可積阻害率と被災ランク（橋脚）

項目との相関分析を行い、H8点検の調査表の改善をはかった。この相関分析により得られたスコアに基づき、橋脚、橋台それぞれについて作成した配点案を表-4に示す。

既往の調査表の配点と今回の検討で抽出した項目による配点との比較を行うために、配点案の最

表-3 被災ランクの分類

被災ランク	アンケート調査の被災状況
ランクⅠ	①流失
ランクⅡ	②転倒
ランクⅢ	③傾斜、④沈下、⑤移動
ランクⅣ	⑥破損、⑦その他
無被災	無被災

表-4 配点案

項目	カテゴリー	防災点検調査表	橋脚配点	橋台配点
既往	河床勾配	1/100以上	15	5
		1/100未満 1/250以上	10	0
		1/250未満	0	0
	橋梁位置	深掘・水衝部	20	10
		その他	0	0
	架設年代	S20以前	10	40
		S21～S40	5	30
		S41以降	0	0
	最小径間長	10m以下	15	15
		10m超 20m以下	10	5
		20m超	0	0
	河積阻害率	7%以上	15	20
		5%以上 7%未満	5	5
		5%未満	0	0
	橋脚の構造	バイルベントである	15	15
		隔壁のないラーメン構造	10	15
		該当しない	0	0
	橋台の設置位置	橋台が河川内に突出	15	5
		架橋位置の川幅が狭い	10	5
		該当しない	0	0
新規	幅員	5m未満	—	10
		5m以上	—	0
	水深 (HW時)	3m以上	—	20
		3m未満	—	0
	水深 (平常時)	1m以上	—	10
		1m未満	—	0
	架橋地点の地形	セグメントM	—	40
		セグメント1	—	0
		セグメント2, 3	—	20

高点がH8点検の最高点と同様となるように配点を調整してある。橋脚の最高点は125点、橋台は110点である。なお、表-4の防災点検調査表の配点表は、今回の検討で抽出された項目のみを示している。

アンケート調査データの被災・無被災橋梁について、今回提案した配点により評価した結果を図-6に示す。図-6では被災橋梁と無被災橋梁の構成比のピークが明確に分かれ、既往の配点（図-3）から改善されていることが分かる。また、図-7には橋台について同様に示す。図-7において、被災橋梁のうち配点の低いところの構成比がまだ少し高いものの、既往の配点に比べて構成比のピークは明確に分かれており、これも改善されたものと判断される。

以上のように、配点を見直すことにより洗掘被害を受ける可能性がよりの確に評価できるようになった。この主たる原因としては、橋脚・橋台について、それぞれの被災の特徴が異なることを考慮し、両者の配点を別にして分けて評価したことが考えられる。

なお、表-4の配点により評価した結果は、洗掘被害を受ける可能性について評価したものである

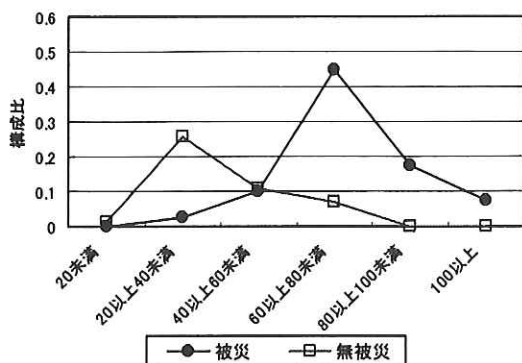


図-6 今年度配点案による配点結果（橋脚）

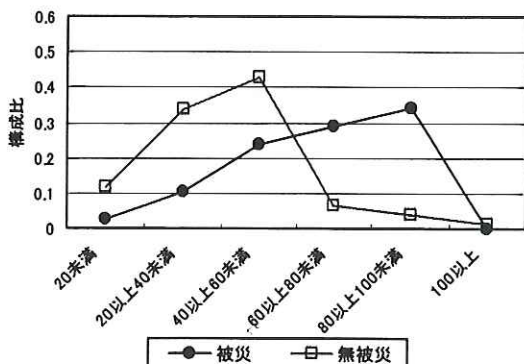


図-7 今年度配点案による配点結果（橋台）

ので、調査を必要とする橋梁の絞り込みだけでなく、調査後の健全度評価において、洗掘の時間的進行の予測にも適用できる可能性があると考えられる。

今回、評点の改善を行ったのはH8点検の調査表のうち、橋梁が洗掘や洪水による災害を受けやすい河川環境に位置しているかどうかを評価する「要因」に関する評点についてのみであった。もう一方の基礎周辺の洗掘状況や堤防取付け部などの変状を実際に測定して評価を行う「変状」に関する評点についても今後改善を行い、調査表全体の精度を上げていく必要がある。

4. 洗掘の調査方法

橋梁下部工の洗掘に対する安定性を判定するためには、洗掘の状況を正確に調査する必要がある。しかし、通常行われている橋梁の洗掘調査は、ボート上からポールまたはスタッフなどを用いて河床深さを計測する手法（写真-3）により行われており精度が悪い。また、水中部の詳細な調査が必要な場合には潜水土による目視調査が行われているが、これらの調査方法では流速が大きい場合に危険であり、多くの費用と時間がかかるため、十分な頻度、精度で調査が実施されているとは言い難い。

このような状況を解決するため、土木研究所では河岸あるいは橋上から安全かつ迅速に調査できる手法の開発に取り組み、ラジコンボートを用いた方法とカラーイメージングソナーを用いた方法を開発した⁵⁾。これらの調査手法は平成8年度道路防災総点検や平成10年の福島・栃木洪水などで実際に使用されている。

ラジコンボートによる調査方法は、ボート上の音響測深機により計測した水深データと河岸に設置したレーザー式のトータルステーションにより計測した位置データをパソコンにより解析、図化処理し、橋脚周辺の河床の等高線図、鳥瞰図など

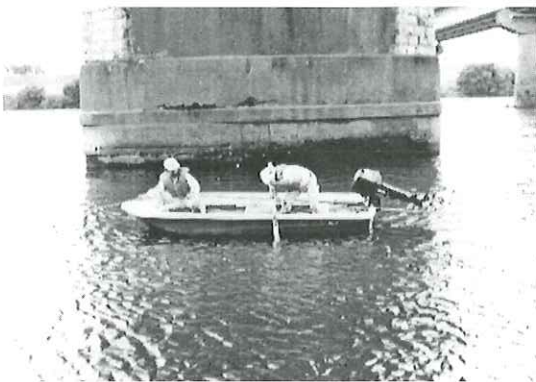


写真-3 従来の洗掘調査方法

を作図する手法である。図-8に示すように、ラジコンボートでは橋脚周辺の広範囲の河床状況を調査できる。

カラーイメージングソナーによる調査方法は、ラジコンボートのように広範囲にわたって調査するものではなく、超音波センサーを上部構造から降ろして橋脚周辺の限られた範囲の河床の状況を調査するもので、調査結果をモニター画面に表示することにより、河床状況を容易に把握できる。カラーイメージングソナーは調査機器が小型、軽量であり、橋上または橋梁点検車の点検足場から作業を行うため、迅速に調査ができる。

しかし、これらの調査方法は、川の流れが静穏な平常時の場合には有効であるが、洗掘が進行する洪水中は流速や流下物の影響で調査することが困難である。また洪水後の調査では洗掘された箇所が二次堆積物によって埋め戻されてしまうため、容易に最大洗掘深さを把握することができない。そこで、洪水中も洗掘の進行状況を計測できる洗掘監視装置を開発した⁶⁾ (図-9)。本装置の計測原理は、橋脚近くの河床に建て込んだパイプに磁石を取付けたリングを通し、このリングが洗掘に伴って沈下するのをパイプ内に挿入したセンサーで計測するものである。

本装置の試作機を実橋に設置して洪水時の河床

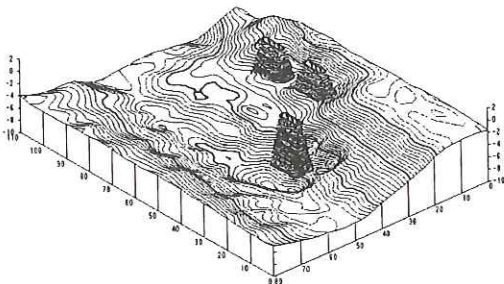


図-8 ラジコンボートによる調査結果

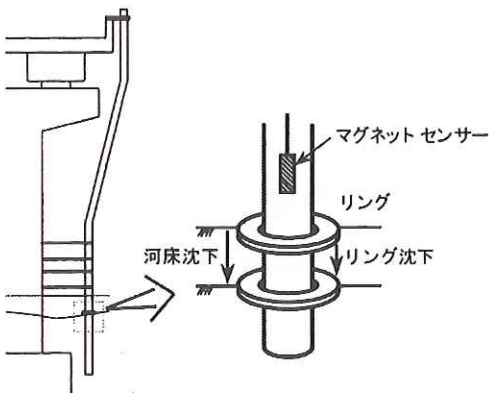


図-9 洗掘監視装置

の低下状況を調べた結果を図-10に示す。水位の上昇に伴い、急激に河床が低下している状況が把握できた。また、洪水後の河床位置を同図に示すが、二次堆積物がかなり堆積することが分かった。本装置は、引き続き検証実験を行っており、耐久性、橋脚への取付け方法等、いくつかの課題を検討して実用化する予定である。

5. 補修補強方法

調査点検等で洗掘の進行が確認され、将来の洗掘が予測される場合や、既に発生している洗掘の進行を抑える方法として根固め工法等が用いられる。また、洗掘により基礎の耐力が低下し、基礎の安定性が確保されていないと判断されるときにはフーチング拡大や増し杭工法などの対策工が行われる。

根固め工 (写真-4) による洗掘対策を実施した場合、それによって基礎周辺の流れが変わり、新たな洗掘を引き起こす可能性がある。したがって、対策を検討する場合、対策工が周辺の流域や河川に与える影響についても十分に考慮する必要がある。また、根固め工のブロック形状、重量、設置範囲など設置方法については必ずしも確立されていない。今後、河川条件、洗掘の進行状況等に応

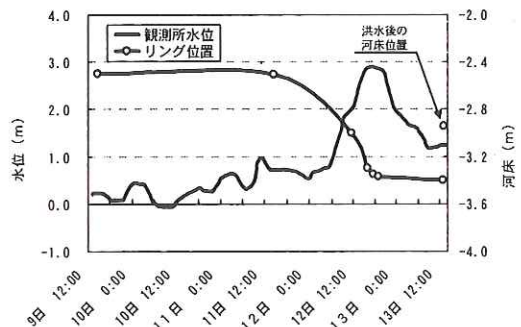


図-10 洗掘監視装置による観測結果

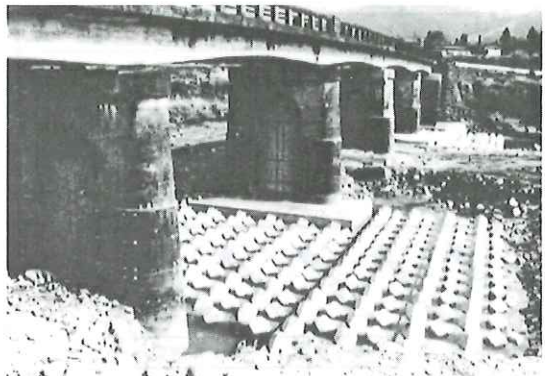


写真-4 根固め工

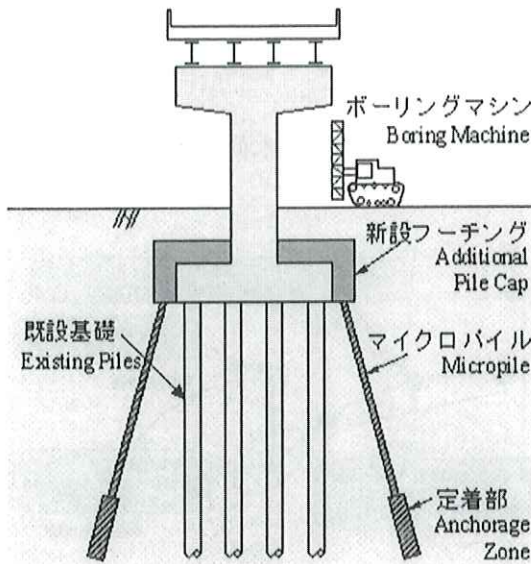


図-11 マイクロパイル工法

じた標準的な根固め設置方法を確立する必要がある。

基礎の耐力を増強させる対策として増し杭工を行う場合、設計上の問題としては、既設基礎と増し杭の荷重分担や新旧部分の結合方法等がある。また、施工上の問題点としては既設上部構造の下での施工となるため、施工性が問題となることが多い。現在、既設基礎の耐震補強としてマイクロパイル⁷⁾（図-11）の活用が期待されているが、洗掘対策にも本工法の適用が考えられる。ただし、これらの補強工法だけでは洗掘の進行を抑える効果がないため、前者の根固め工法との併用が必要である。

6. まとめと今後の課題

道路橋基礎の補修・補強要因のうち最も割合の高い洗掘について、その被害実態と土木研究所で

調査を進めている維持管理の方策について述べた。今後は橋梁の洗掘に対する健全度を判定する方法として、H8点検での調査表をさらに検討し、判定の精度を上げていく予定である。また、道路橋基礎が実際に洗掘されている場合に、基礎の洗掘量に対して、どの程度の耐力低下が起こるのかを予測するための方法を確立する必要がある。

参考文献

- 1) 災害統計：建設省河川局
- 2) 高本章次：道路における橋梁下部構造の点検と補修・補強法の現状について—アンケート調査結果から—、基礎工, pp.7-11, 1990.9
- 3) 平成10年8月末豪雨による福島県・栃木県豪雨災害現地調査報告書, 土木研究所資料第3793号, 平成13年3月
- 4) 橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書—橋梁基礎の洗掘調査マニュアル（案）—：土木研究所, 共同研究報告書第157号, 平成9年1月
- 5) 福井、加藤、大越、梅原：橋梁基礎の洗掘監視装置の開発, 第55回土木学会年次学術講演会（VI）, 2000.9
- 6) 平成8年度道路防災総点検要領（豪雨・豪雪等）：道路保全技術センター, 平成8年8月
- 7) 既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書（その3）, 土木研究所, 共同研究報告書第282号, 平成14年9月

石田雅博*



独立行政法人土木研究所構造物研究グループ基礎チーム主任研究員
Masahiro ISHIDA

野々村佳哲**



独立行政法人土木研究所構造物研究グループ基礎チーム
Yoshinori NONOMURA

福井次郎***



独立行政法人土木研究所構造物研究グループ基礎チーム上席研究員
Jiro FUKUI

大塚雅裕****



本州四国連絡橋公団第三管理局保全部（前 独立行政法人土木研究所構造物研究グループ基礎チーム主任研究員）
Masahiro OHTSUKA