

既設橋におけるあと施工アンカーの 設計手法に関する調査

既設橋耐震設計・診断 WG

崔 準祐¹・服部 匡洋²・笠井 尚樹³・京田 英宏⁴
田嶋 仁志⁵・傳 斌⁶・松原 拓朗⁷・松本崇志⁸

¹ 正会員 西日本高速道路株式会社 関西支社 新名神大津事務所（〒520-0032 滋賀県大津市観音寺 18-1）

E-mail: j.choi.aa@w-nexco.co.jp

² 正会員 一般財団法人阪神高速先進技術研究所 調査研究部（〒541-0054 大阪府中央区南本町 4-5-7）

E-mail: masahiro-hattori@hit.or.jp (Corresponding Author)

³ 正会員 北武コンサルタント株式会社 技術部（〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目）

E-mail: n-kasai@hokubu-c.co.jp (Corresponding Author)

⁴ 正会員 北武コンサルタント株式会社 技術部（〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目）

E-mail: h-kyoda@hokubu-c.co.jp (Corresponding Author)

⁵ 正会員 株式会社 IHI インフラシステム（〒135-8710 東京都江東区豊洲 3-1-1）

E-mail: tajima0357@ihi-g.com (Corresponding Author)

⁶ 正会員 株式会社エイト日本技術開発 防災保全事業部（〒532-0034 大阪府淀川区野中北 1-12-39）

E-mail: fu-bi@ej-hds.co.jp (Corresponding Author)

⁷ 正会員 首都高速道路株式会社 東京東局 土木保全設計課（〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 43-5）

E-mail: t.matsubara813@shutoko.jp (Corresponding Author)

⁸ 正会員 株式会社 建設技術研究所 大阪本社 構造部（〒541-0045 大阪府中央区道修町 1-6-7）

E-mail: matsumoto-takashi@ctie.co.jp (Corresponding Author)

現在、南海トラフ地震をはじめとする大規模地震の発生が切迫する中、数ある既存の橋梁に対し、限られた予算の中で耐震補強計画、性能評価、耐震対策を行わなければならない。土木学会地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震計画・設計・診断に関する研究小委員会の既設橋耐震設計・診断 WG のうち、既設橋に対する耐震診断手法の収集整理と検討 SWG では、実務者の参考となるような既設橋固有の課題や状況を考慮した設計手法や解析方法の事例収集を行っている。本稿では、特にコンクリート部材に対するあと施工アンカーに着目し、関連する基準・マニュアル類を整理するとともに、アンカー部の被災事例、研究や実験事例・アンケート調査を踏まえ、あと施工アンカーの設計における課題について整理する。

Key Words: existing bridge, seismic reinforcement, anchor

1. はじめに

南海トラフ地震をはじめとする大規模地震の発生が危惧されている中、現行の道路橋示方書の設計基準を満たしていない既設の橋梁に対し、各道路管理者の計画・管理のもと、耐震補強事業が進められている¹⁾。耐震補強事業においては、当然のことながら限られた予算の中で優先順位を考慮した耐震補強計画、現行の設計基準類をベースとした適切な設計と性能評価、過去の被災事例を

踏まえた更なる耐震対策、そして生産性、作業効率性、安全性、補強部の既設構造への影響等を考慮した合理的な施工計画について検討を行う必要がある。

土木学会地震工学委員会の性能に基づく橋梁の耐震計画・設計・診断に関する研究小委員会では、「既設橋耐震設計・診断 WG」を立上げ、既設橋に対する耐震診断手法の収集整理と検討（SWG1）、危機耐性を考慮した既設橋の耐震設計・耐震構造（SWG2）、震後における構造物の性能評価方法（SWG3）に分け、既設橋の耐震

設計手法に関する検討を行っているところである。SWG1 では、実務者の参考となるような既設橋固有の課題や状況を考慮した設計手法や解析手法等の事例収集、また設計上の課題と留意点について整理する計画としている。

本報では、耐震補強時によく採用されている落橋防止構造やデバイスーなどにおいて、取り付け部に使用するあと施工アンカーに着目し、関連する基準・マニュアル類を調査しそれぞれの設計・照査方法について整理した。さらに、近年発生したあと施工アンカー部の被災事例や実験等の既往の研究事例、委員会内で実施した実務者のヒアリング結果を踏まえ、あと施工アンカーの設計における各種課題について整理する。

2. あと施工アンカーに関する調査

(1) 設計方法の調査

あと施工アンカーは、既設道路橋に落橋防止構造を取り付ける場合などの耐震補強対策にも適用されており、「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」の準用に関する参考資料（案）²⁾（以下、復旧仕様と呼ぶ）や既設橋梁落橋防止システム設計の手引き³⁾（以下、橋建と呼ぶ）を参考にしている場合が多く、これらの図書では、アンカー筋の既設コンクリートへの定着長をアンカー径の 15 倍以上としている（樹脂とコンクリートの付着で必要なアンカーボルトの埋込長を計算している計算例もある）。ただし、これは一つの例であり、道路橋の耐震補強対策に着目して体系化された技術基準は確立されておらず、補強設計を行う際には、構造

物毎に設計者が判断し設計手法を選択しているのが現状である。

本節では、まず既往の技術基準について調査を行うとともに、各技術基準の設計方法について、適用範囲、構造細目、耐力評価式の比較を行った。今回調査を行った指針類を表-1 に示す。

なお、あと施工アンカーは大別して、金属系アンカー工法と接着系アンカー工法に分類されるが、土木構造物の耐震補強で適用事例の多い接着系アンカーに着目した。

また、コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）⁴⁾（以下、JSCE 指針と呼ぶ）については、標準編の内容について調査を実施した。以下に、各指針類の主要な相違点を示す。

a) 適用範囲

各指針類に示される適用範囲を表-2 に示す。技術書院資料については、適用範囲に関する具体の記述は見られなかった。JSCE 指針【標準編】と RTRI 手引きについて、アンカー径や母材コンクリート強度の範囲が若干異なるが、これらは耐力評価式の元となる実験の範囲が異なるためである。復旧仕様や橋建では、縁端拡幅構造や落橋防止構造のコンクリート部材に定着させるあと施工アンカーに関する設計計算例が示されている。

表-1 調査を行った指針類

発行	名称	発行年
土木学会	コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）【標準編】	2022 年
鉄道総研	あと施工アンカー工法設計施工の手引き ⁵⁾ （以下 RTRI 手引きと呼ぶ）	2018 年
技術書院	あと施工アンカー 設計と施工 ⁶⁾ （以下 技術書院資料と呼ぶ）	1990 年

表-2 各指針類の適用範囲

項目	復旧仕様・橋建	JSCE 指針【標準編】	RTRI 手引き	技術書院資料
アンカー径	— (D51 の事例あり)	D10～D25 M8～M24	D10～D38 M10～M30	— (明記されていない)
母材強度	—	18Mpa 以上	12Mpa 以上	—
作用	落橋防止構造	<適用除外> ・地震の影響 ・大きな荷重の繰り返し ・疲労 ・衝撃 ・振動	<適用除外> ・列車荷重による疲労 ・高応力の繰り返し <適用可（例）> ・静的な荷重 ・落橋防止工などの一時的な荷重	—
使用箇所	落橋防止構造	<適用除外> ・長期間にわたり付帯設備等を吊り下げる箇所 <適用可（例）> ・防護柵（歩道） ・点検通路 ・標識 ・防音壁 等	<適用可（例）> ・桁座拡幅工 ・落橋防止工 ・プレキャスト高欄 ・排水樋 ・下束（長期吊り下げ） ・検査用足場 ・仮設物 等	—

作用については JSCE 基準【標準編】，RTRI 手引きともに高応力繰返しや疲労については，これらの影響に対する知見が十分得られていないことから適用範囲外とされているが，落橋防止装置の取り付けなど，地震の影響については JSCE 指針【標準編】では適用範囲外とされているものの，復旧仕様，橋建，RTRI 指針では適用可能となっている。

使用箇所については，作用の適用範囲と連動して，JSCE 指針【標準編】の適用範囲が限定的である。大き



図-1 JSCE 指針【標準編】の適用範囲

く異なるのは，JSCE 指針【標準編】では，長期特性の知見不足と破壊が生じた場合の第三者影響度を考慮し，長期にわたり付帯設備等を吊り下げる箇所については適用範囲外としているが，RTRI 手引きでは，長期持続荷重に対する影響等を考慮することで，トンネル内で架線を吊り下げる下束（長期の吊り下げ）についても適用可能となっている。図-1 に JSCE 指針の適用範囲を示す。

b) 構造細目

各指針類に示される構造細目を表-3 に示す。技術書院資料については，構造細目に関する具体の記述は見られなかった。有効埋込長については，JSCE 指針および RTRI 手引きともに耐力評価式の元となる実験の範囲を踏まえ設定されている。復旧仕様は 15Φ である。

アンカーピッチやへりあき，はしあき，母材の残り厚さについては，引張力が持続作用する場合を除いて RTRI 手引きでは規定されておらず，JSCE 指針のみ規定がなされている。RTRI 指針については，耐力評価式でこれらの影響に対する低減を考慮することで上記の数値を制御しているものと推察される。

表-3 各指針類の構造細目

項目	復旧仕様・橋建	JSCE 指針【標準編】	RTRI 手引き	技術書院資料
有効埋込長	15 φ	7 φ 以上	10 φ 以上 (上向きアンカー：15 φ 以上)	—
アンカーピッチ	—	呼び径の 5 倍以上	—	—
へりあき	—	呼び径の 3 倍以上	—	—
はしあき	—		(引張力が持続作用する場合， 10 φ 以上およびかぶり厚以上)	—
母材の残り厚さ	—	30mm 以上	—	—

表-4 各指針類の耐力評価式の考え方

	JSCE 指針【標準編】	RTRI 手引き	技術書院資料
設計法	限界状態設計法	限界状態設計法	許容応力度法
耐力算定用有効埋込長	母材表面からアンカー筋先端迄	母材表面から無効区間を除いてアンカー筋先端迄 (一般に無効区間＝被り厚)	母材表面からアンカー筋先端迄
軸引張耐力	アンカー筋の降伏耐力，コンクリートコーン状破壊耐力，アンカーと母材の付着耐力のうち最も小さい値	アンカー筋の降伏耐力，コンクリートく体引張破壊耐力のうち小さい方の値	アンカー筋の降伏耐力，コンクリートコーン状破壊耐力，アンカーと母材の付着耐力のうち最も小さい値
せん断耐力	アンカー筋のせん断降伏耐力，コンクリートの支圧破壊耐力のうち小さい方の値	アンカー筋のせん断降伏耐力，コンクリートの支圧破壊耐力のうち小さい方の値	アンカー筋のせん断降伏耐力，コンクリートの支圧破壊耐力のうち小さい方の値
軸引張力・せん断力が同時に作用	軸引張破壊およびせん断破壊の余裕度から算定	軸引張破壊およびせん断破壊の余裕度から算定	—
へりあきの影響(引張に対して)	有効埋込長いかなの場合低減	10 φ 以下の場合低減	—
はしあきの影響(せん断に対して)	水平方向コーン状破壊耐力の照査を追加実施	10 φ 以下の場合水平方向コーン状破壊耐力の照査を追加実施	—
アンカー同士近接の影響	有効埋込長の 2 倍にアンカー直径を加えた値以下の場合低減	20 φ 未満の場合低減	—

c) 耐力評価式

各指針類に示される耐力評価式の考え方を表-4に示す。JSCE指針およびRTRI手引きについては、部分係数を用いた限界状態設計法であるのに対し、技術書院資料については、従来の許容応力度法による点が異なる。

耐力算定に用いる有効埋込長については、JSCE指針および技術書院資料については、母材表面からアンカー筋先端まで（直線部分）となっているが、RTRI手引きでは、ひび割れ等の劣化が生じることを想定し図-2に示すように無効区間を設定し有効埋込長を設定している。軸引張耐力評価式のうち、コンクリートの破壊に対する耐力の考え方については、JSCE指針および技術書院資料はコーン破壊耐力と付着破壊耐力のうち小さい値と定められている。一方、RTRI手引きは、破壊形態が上方3〜6φがコーン破壊、残り下方が付着破壊の複合破壊形態（図-3）であるとしてコーン破壊耐力と付着破壊耐力の累加式となっている点が相違している。

せん断耐力評価式および引張力およびせん断力が同時に作用する場合の評価方法の考え方は、各指針類ともに同様となっていた。

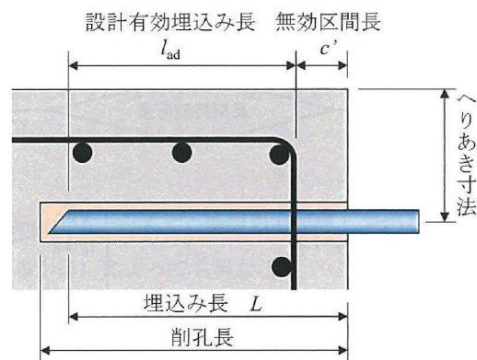


図-2 RTRI手引き_有効埋込長⁵⁾

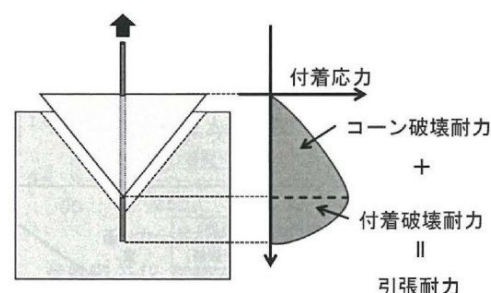


図-3 RTRI手引き_軸引張に対する破壊形態⁵⁾

(2) 被災事例の調査

あと施工アンカーに関連する被災事例について、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震、2024年能登半島地震の各被害調査報告書^{7~10)}をもとに調査を行った結果を表-5に示す。なお、本調査はあと施工アンカーに関する調査であることから、取付けられた構造本体の損傷は対象外とした。

調査の結果、あと施工アンカーにより取付けられた部材は、変位制限構造、横変位拘束構造、落橋防止構造、制震デバイスなど様々であり、設計地震力や地震力の作用の仕方も異なるが、損傷タイプは以下の2タイプに分けられる。

- ・タイプ1：RC製の下部構造の橋座取付部の損傷
- ・タイプ2：あと施工アンカーの引き抜けや破断

写真-1～写真-7に損傷状況の一例を示す。タイプ1の下部構造の橋座取付部の損傷が多く、その損傷状況から、橋座取付部のせん断耐力、あと施工アンカーの配置位置や縁端距離などが影響しているものと推察される。

タイプ2のあと施工アンカーそのものの被災事例は多くはないが、アンカーの引き抜けや破断などが確認されており、その損傷状況から、取付部の配筋状況、あと施工アンカーの縁端距離、地震力の作用方向などの影響が示唆される。

a) 2016年熊本地震

2016年4月に発生した熊本地震によりあと施工アンカーが被災した1件の事例⁹⁾を紹介する。桑鶴大橋の被災事例では、A1橋台部における上部工と橋台を橋軸方向

に連結した落橋防止構造において橋台側に埋設されたアンカーボルトが橋軸方向の地震力により引き抜かれて破断が生じている（写真-6）。本橋梁に対する橋軸方向への地震力により、上下部構造の相対変位が生じたことが主な原因と推測されるが、アンカーボルトの一部は上下方向に変状しており、上下方向への外力が生じていたことも考えられる。

b) 2024年能登半島地震

写真-7に示すとおり、鶴飼大橋の桁端においてRCブロックの落橋防止装置の損傷があるが、橋脚梁取付部のコンクリートが破壊しており、定着部の強度照査が不十分であった可能性が考えられる。

(3) 実験事例の調査

図-4に下部構造の橋座部取付部の耐力に着目した実験事例の一例¹¹⁾を示す。あと施工アンカーではないものの、橋座縁端に後付け部材が配置される場合の取付部の押し抜きせん断耐力の評価に着目した載荷試験が実施されている。本試験では、縁端距離が大きくなるにつれて最大耐力が増加すること（図-5）、ひび割れ発生状況や切断による破壊面の観察から、橋座式¹²⁾で想定される突起の最後列アンカーから45度もしくは45度より大きな角度を有するひび割れが発生し、それが橋座側面まで到達し押し抜きせん断破壊を示したことで、またこれらのひび割れ状況は橋座式で想定される破壊面と概ね一致することが確認されている。また、定着部の耐力が不足すること

表-5 あと施工アンカーに関連する被災事例
(a) 2011年東北地方太平洋沖地震

橋梁名	あと施工アンカーによる取付部材	損傷部位	損傷タイプ
亀田大橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
泉高架橋	制震ダンパー	上部工取付ボルトのゆるみ・破断	タイプ2
仲ノ瀬橋	制震ダンパー	橋座取付部	タイプ1
日高見橋	鋼製ダンパー	RC台座	タイプ1
里川橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
植田跨線橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
大正橋	落橋防止構造(連結板)	橋座前面取付部, 取付アンカーの引き抜け・破断	タイプ2

(b) 2016年熊本地震

橋梁名	あと施工アンカーによる取付部材	損傷部位	損傷タイプ
東原橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
南阿蘇橋	RC変位制限構造, 制震ダンパー	橋座取付部	タイプ1
府領第一橋	RC変位制限構造	橋座取付部, 取付アンカーの引き抜け	タイプ2
桑鶴大橋	RC変位制限構造, 落橋防止構造(連結板)	取付アンカーの引き抜け	タイプ2

(c) 2024年能登半島地震

橋梁名	あと施工アンカーによる取付部材	損傷部位	損傷タイプ
能登大橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
能登島大橋	RC変位制限構造	橋座取付部	タイプ1
鵜飼大橋	落橋防止構造(RC反力壁)	橋座取付部	タイプ1



写真-1 変位制限構造橋座取付部の被災事例(植田跨線橋)



写真-2 変位制限構造橋座取付部の被災事例(亀田大橋)



写真-3 制震ダンパー取付部の被災事例(仲ノ瀬橋)



写真-4 あと施工アンカーの被災事例(大正橋)



写真5 あと施工アンカーの被災事例(府領第一橋)

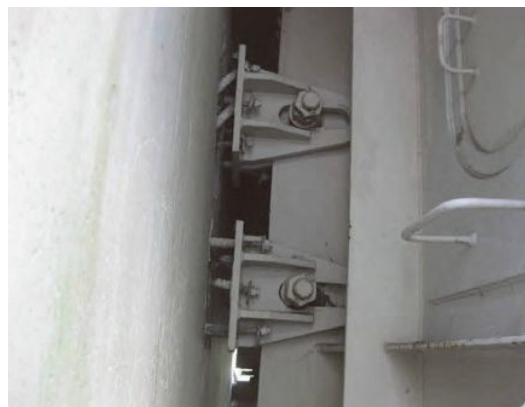


写真6 あと施工アンカーの被災事例(桑鶴大橋)



写真7 落橋防止構造取付部の被災事例(鶴飼大橋)

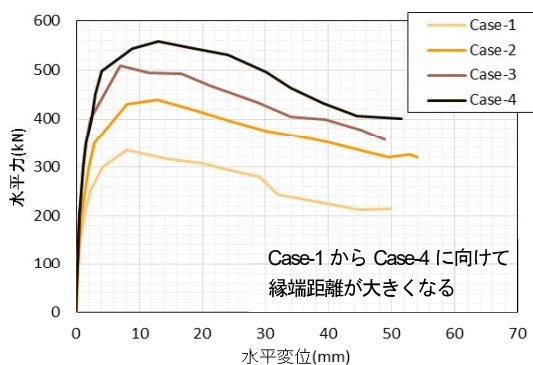


図5 取付部の耐力に対する縁端距離の影響
(文献11)に加筆)

を想定し、補強対策として橋座側面に鋼板とアンカーを設けた試験を併せて実施し、最大耐力が向上することが確認されている。

(4) アンケート調査結果

あと施工アンカーの設計や施工における課題を抽出するため、設計会社と施工会社にアンケートを行った。アンケートの質問事項は以下のとおりである。

a) 設計会社へのヒアリング事項

- あと施工アンカーの設計にあたり、主に参考になっている基準・ガイドライン
- 過去の経験から、あと施工アンカーの設計において悩んだ点、課題となった点
- あと施工アンカーの設置が困難であるため、別工法

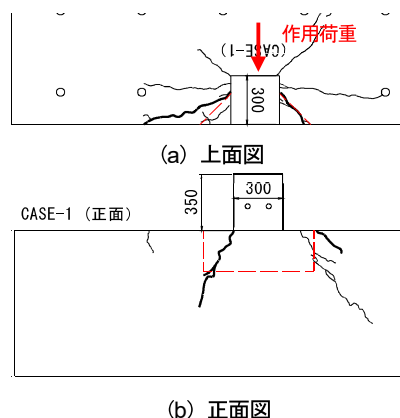


図4 取付部に着目した実験事例 (Case-1)
(文献11)に加筆)

を採用した等、工夫した事例

- あと施工アンカーの設計における適用条件
- 作用力に応じた設計方法の使い分け
- ブラケットの設計におけるてこ反力の考慮

b) 施工会社へのヒアリング事項

- あと施工アンカー施工で苦勞する点、設計で改善してほしい点
- あと施工アンカーの設置が困難なため工夫した事例
- 過去経験でのあと施工アンカーにおける最大間隔と最小間隔
- あと施工アンカーの周辺の付着状況や充填状況の確認・補償
- 充填剤の選定
- 設計どおりに削孔できない場合の再設計を行う判断

c) アンケート調査結果

表-6に設計会社及び施工会社からの回答の一覧を示す。設計会社からの回答より、あと施工アンカーの設計にあたり、(I)に示した基準以外にも、さまざまな基準・ガイドラインが用いられていることがわかる。あと施工アンカーの設計における適用条件の回答が、設計者によって異なっている項目がある点もこれが関連していると考えられる。また、あと施工アンカーの設計において悩む

表6 アンケート結果一覧

(a) 設計会社

No.	質疑		回答
1	あと施工アンカーの設計にあたり、主に参考になっている基準・ガイドライン	道路橋	・道路橋示方書・同解説、(公社)日本道路協会、平成24年 ・兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧にかかる仕様」の準用に関する参考資料(案)、日本道路協会、平成7年 ・コンクリートライブラリー141コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針(案)、(社)土木学会、平成26年 ・コンクリートライブラリー160コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針(案)、(社)土木学会、令和4年1月 ・既設橋梁の耐震補強工法事例集、(財)海洋架橋・橋梁調査会、平成17年 ・あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針、国土交通省、平成18年 ・NEXCO二集 橋梁保全編 ・既設橋梁落橋防止システム 設計の手引き(改訂版)、日本橋梁建設協会、平成22年 ・土研資料1828号、土木研究所
		鉄道橋	・あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針、国土交通省住宅局、平成18年 ・あと施工アンカー施工指針(案)・同解説、日本建築あと施工アンカー協会(JCAA)、2005
2	過去の経験から、あと施工アンカーの設計において悩んだ点、課題となった点	定着長	・あと施工アンカー一長について、上段から下段まで統一するべきかどうか、 ・あと施工アンカーの埋め込み長について、アンカー本数を減らすために15D以上の定着長を伸ばすことが可能かどうか ・施工空間や、施工部材の厚さ等により、長さが不足する、 ・定着長の設定方針(15φ、10φなどの採用方針)
		付着の照査	・付着の照査方法
		削孔の可否	・工事で削孔が完了するまで、最終決定ができない、
4	あと施工アンカーの設計における適用条件	その他	・中空床版橋において、落橋防止構造と地震時水平力分担構造の下部工付きブラケットを兼用するケースの設計の考え方について ・落橋防止構造の下部工付きブラケットを支承取替時の仮受けに兼用する場合の設計の考え方について ・PC橋など死荷重の大きな橋梁に対する水平力分担構造などの支承部の対策について
		3	・アンカー分散するようにしている、 ・アンカー配置、ブラケット形状を見直すことで対応(別工法等まで採用した事例はなし)
		最大径	・D51まで(2社) ・無条件の最大径は設定していない、(現地条件から最大径を決定することはあり) ・削孔不可能な状況を想定して、本数は少なめとして、代わりに鉄筋径をあげる、 ・特になし
		最大間隔	・既存主鉄筋との取り合いおよび群杭効果を考慮 ・間隔は基本は既設配筋ピッチで決めるため、150とか300等 ・既設RC構造物の鉄筋と鉄筋の間に、1箇所以上の削孔は行わない、 ・特にない(2社)
		最小間隔	・5φ程度以上 ・①中心間隔=5dかつ100mm以上 ※道示Ⅱ11.5.4すれ止め(スタッド)の最小間隔を参考 ②既設鉄筋間隔を考慮 ・No.1の基準で照査するとあまり狭くできないので、それで最小間隔を決めたりしている、
		取り付ける部材の辺長	・特にない ・現場に搬入可能な大きさ
		アンカーの配置	・既存鉄筋を干渉しないように計算で決定 ・格子配置を基本とする ・最小2段を基本
5	作用力に応じた設計方法の使い分け	定着長	・最小10D(せん断)程度、最大15D程度(曲げ) ・15φ ・曲げが作用する場合は15φ、せん断のみ作用する場合は10φを最小値とし、付着照査にて最終的な長さを設定 ※実績を考慮し、10φ～15φの範囲で設定、
		縁端距離	・道路橋支承便覧、(公社)日本道路協会、平成30年のP.206参照 ・かぶり内にアンカーを配置しない(2社) ・水平力分担構造の場合には支承縁端距離を確保 ①道示Ⅳ 橋座部の設計(0.2+0.005L)を参考に設定 ②ボルトの縁端距離の考えを設定
6	ブラケットの設計におけるてこ反力の考慮		・特に設計方法の使い分けは行っていない、決定ケースであと施工アンカー本数・配置を決定している、 ・曲げが作用する場合の定着長を15φと規定し、せん断のみが作用する場合は10φとしている、 ・高力ボルトの場合は考慮(日本橋梁建設協会 既設橋梁落橋防止システム 設計の手引き) ・鋼上部工に摩擦接合でブラケットを取り付ける場合は考慮している、 ・考慮している

(b) 施工会社

No.	質疑		回答
1	あと施工アンカー施工で苦勞する点、設計で改善してほしい点	施工で苦勞した点	・削孔時に既設コンクリート内の鉄筋と干渉する ・設計図や鉄筋探索では確認することできない、鉄筋(段取り筋)等に頻繁に干渉し、設計図通りに削孔できない点が苦勞する、 ・鋼桁の時アンカー上部には問題無いが、削孔機が既設部材と干渉し、削孔機がセットできない場合がある、
		設計で改善してほしい点	・できるだけ本数が少なくなるように設計してほしい
		その他	・JCAA(日本建築あと施工アンカー協会)の資格を求められる場合がある
2	あと施工アンカーの設置が困難なため工失した事例		・当初設計よりも、アンカーの径を小さくし、本数を増やして対応した、 ・既設躯体を折リ(ウォータージェット等)、鉄筋を露出させてからアンカーを施工した、
3	過去経験でのあと施工アンカーにおける最大間隔と最小間隔	最小間隔	・110mm程度 ・既設アンカーの真横に隙間なし(間隔0)で新設アンカーを打ち替えることがある、
		最大間隔	・530mm程度 ・コア削孔部が既設鉄筋に干渉した場合や既設排水管等の障害物がある場合などに、設計強度とアンカー材のサイズ変更や鋼材の拡大を考慮した限界削孔位置の指示を受けるため状況によって異なる
4	あと施工アンカーの周辺の付着状況や充填状況の確認・補償		・引張試験の実施 ・超音波による長さ試験の実施による定着長の確認 ・アンカーの出代による定着長の確認 ・注入時は、注入用のホースから注入し、リーク確認用のホースから充填剤が出てくれば充填が完了したと判断している ・有機系充填剤(低粘度エポキシ樹脂等)の横向往施工では、定着部周辺のクラックやコア削孔済の別孔内からの水漏れが確認されれば注入時にも充填剤の漏れが予想できるため、あらかじめシール材で定着部以外の漏れも阻止しておく、 ・注入は下段から先に行い上段の注入完了後に充填確認用の透明ホース内の充填剤が減少していれば、充填剤の可使時間内に再注入を行なっている、 ・無機系充填剤では付着・充填状況の確認・保証は難しい ・有機系・無機系または金属系等いずれでも、経験豊かな施工者本人の自覚と責任感と技量に頼るしかない
5	充填剤の選定		・無機材、樹脂等の選定は設計に準じて行う、 ・使用実績のある材料の中から選定する、 ・施工形状や条件により選定する、(削孔径、定着長、温度、湿度)
6	設計どおりに削孔できない場合の再設計を行う判断		・設計通り削孔できることが少ない、定着の鉄板なども現地合わせにより固定位置を決めている、施工図として、発注者に提出し、判断を仰ぐ、 ・設計通りに削孔できる場合の方が少ないため、設計本数の削孔・定着後に、全削孔箇所でも再設計を実施している、 ・設計本数の削孔が出来ない場合は、削孔を中断し、再設計を実施する、 ・縮径や位置の変更を行い追加削孔を実施する ・設計どおり削孔できない場合に再設計を行うよりも、当初からアンカー径を細くして本数を多くすれば、施工性も改善して無駄な補修も少なくなる

点として、あと施工アンカーの定着長の設定に関して多く回答が得られた。

一方、施工会社からの回答からは、施工時の削孔が最大の課題であるように伺える。その対応として、アンカー本数を減らして鉄筋径を上げて対応する場合もあれば、アンカー本数を増やして鉄筋径を下げることで対応する場合もあるようである。

3. あと施工アンカーの設計における課題

以上の調査を踏まえ、あと施工アンカーの設計における課題を以下に整理する。

- ・あと施工アンカーに作用する地震力方向の適切な設定が重要である。落橋防止装置等に使用するあと施工アンカー部については、外力として一般に水平力を主とした設計を行っている事例が多いと思われるが、鉛直方向地震力（アップリフト）が加わったことでアンカーの引張変形した被災事例もみられることから（写真-6）、設計地震力の方向に対し適切な設定が必要と考えられる。
- ・アンケート結果にもあるように、あと施工アンカーの削孔時に難題が多いことから、できるだけ本数を減らした設計が望まれている。設計方法の一つとして、RC断面で応力照査を行いアンカーの必要本数を決定するものがあり、群の影響を考慮した設計法に比べ一般に本数を減らすことが可能である。しかし、その方法を用いた設計を行う際には、想定設計力に対し定着長の取り方について問題ないか十分な検討が必要と考えられる。

4. まとめ

本稿では、土木学会地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震計画・設計・診断に関する研究小委員会の既設橋耐震設計・診断WGの取り組みの一環として、特にコンクリート部材に対するあと施工アンカーに着目し、関連する基準・マニュアル類を整理するとともに、アンカー部の被災事例、研究や実験事例・アンケート調査を踏まえ、あと施工アンカーの設計における課題について整理

した。引き続き調査検討を行い、あと施工アンカーの設計のあるべき姿について議論していく。

REFERENCES

- 1) 例えば、阪神高速道路株式会社：道路橋の耐震補強、<https://www.hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/anchor/p04.html>, (2025年6月13日閲覧)
- 2) 社団法人日本道路協会：「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」の準用に関する参考資料（案），1995.6. [Japan Road Association: Recovery Specifications, 1995.6.]
- 3) 社団法人 日本橋梁建設協会：既設橋梁落橋防止システム 設計の手引き（改訂版），2005. [Japan Bridge Association: Reistraner Design Guideline for Existing Bridge, 2005.]
- 4) 公益社団法人土木学会：コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針（案），2022. [Japan Society of Civil Engineers: Recommendation for Design, Construction and Maintenance of Post-installed Anchors in Concret, 2022.]
- 5) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：あと施工アンカーの設計・施工の手引き，2018. [Railway Technical Research Institute: Guide to design and construction of post-installed anchors, 2018.]
- 6) 岡田 恒男，田中 礼治，松崎 育弘，坂本 功，河村 壮一：あと施工アンカー設計と施工，技術書院，1990. [Okada, T. and Tanaka, R. and Matuzaki, Y and Sakamoto, I and Kawamura, S.: Design and installation of post-installed anchors, Gijutu Shoin, 1990.]
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告，国総研資料第 814 号，土研資料第 4295 号，2014.
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：平成 28 年（2016 年）熊本地震土木施設被害調査報告，国総研資料第 967 号，土研資料第 4359 号，2017.
- 9) 日本橋梁建設協会：熊本地震橋梁被害調査報告書，2016.
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：令和 6 年能登半島地震土木施設被害調査等報告，国総研資料第 1320 号，土研資料第 4459 号，2025.
- 11) 曾我恭匡，前川和彦，篠原聖二，服部匡洋：水平力分担構造等の定着部の耐荷力評価手法，阪神高速道路技報第 30 号，2021.
- 12) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2017.

INVESTIGATION OF DESIGN METHODS FOR ANCHORS IN EXISTING BRIDGES

Joon-Ho CHOI, Masahiro HATTORI, Naoki KASAI, Hidehiro KYODA,
Hitoshi TAJIMA, Bin FU, Takuro MATSUBARA and Takashi MATSUMOTO