

短いあと施工アンカーボルトによる落橋防止構造の载荷試験

玉越隆史* 小林 寛** 川間重一*** 平塚慶達****

1. はじめに

道路橋の設計に一般に用いられる技術基準である道路橋示方書では、現在耐震性の確保のための落橋防止システムに関する規定がなされている。一方、既設橋の中には現行基準による場合に比べて耐震性が十分でないものもあり、橋脚天端での桁かかり長を確保して、落橋を防止するために、橋脚のはり部にブラケット構造を設置する必要がある場合がある。橋脚がコンクリート構造の場合には橋脚はりにあと施工で削孔してアンカーボルトを施工する方法が一般的に行われる。

ブラケットには地震時に桁を受け止めて落下を防止できるだけの耐荷力が求められるが、ブラケットとはりの固定を従来のアンカーボルトの設計方法を踏襲して、アンカーボルト径の15倍の定着長の確保による引抜き抵抗で行うためには、既設コンクリートを深く削孔することが必要となる。しかし既設橋脚はり内部には多数の鉄筋が配置されており、これらと干渉することなく多数のアンカーボルトに必要な定着長が確保できる削孔を行うことは困難を伴う場合も多い。削孔時にはり内部の鉄筋等の鋼材を損傷させることは、橋脚の性能に深刻な悪影響を及ぼすことも懸念される。

このような背景から本研究では、コンクリート橋脚のはり部に設けるブラケット構造について、内部鋼材の位置が非破壊検査により高い信頼性で検出できる深さ150mm程度の浅い削孔で短いアンカーボルトにより固定できるブラケット構造の検討を行ったものである。

定着長が短いアンカーボルトの引抜き抵抗やせん断抵抗については過去に十分な知見が得られていないため、本研究では実物大スケールの供試体による载荷試験を行い、短いアンカーボルトを用いたブラケット取り付け構造とその耐荷力機構に関する基礎的な検討を行った。また取り付け構造全体の载荷実験に先だて、短いアンカーボルト

の引抜き抵抗やせん断抵抗を確認するための要素試験を実施した。

2. 要素試験

2.1 供試体

要素試験では、ねじ加工したSD345をアンカーボルトとして用いた。アンカーボルトは橋の下部構造を想定したコンクリート強度 21N/mm^2 のコンクリートブロック(800×800×1000mm)を削孔し、エポキシ樹脂により定着を行った。

なおエポキシ樹脂の充填硬化による定着性能が施工条件により左右されることを想定して削孔・定着の施工方法は上向き(鉛直方向)と横向き(2種類)とした。表-1に試験条件を示す(表中、名称にダッシュ(?)がついているものは横向きで施工)。試験は引抜き試験3体、せん断試験8体を実施した。なお、せん断耐力は部材の縁端部からアンカーボルトまでの距離(以下「縁端距離」という)によって破壊性状が異なるが、アンカーボルトの縁端距離に応じたコンクリートのせん断耐力については、既往の研究1)による橋座部の水平耐力の評価式を参考にして支承縁端距離と同等の縁端距離を確保した。

2.2 試験方法

各载荷試験は、あと施工アンカーのエポキシ樹脂が所要の強度を発現したことを材料試験により確認して行った。

引抜き試験は、図-1(a)に示すように、センターホール(CH)ジャッキを設置して、アン

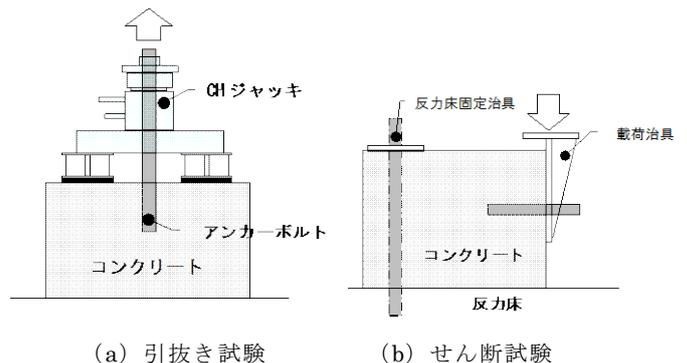


図-1 要素試験の概要

表-1 要素試験供試体諸元及び試験結果

名称	試験種類	アンカーボルト		純せん断耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	最大荷重時変位 (mm)		破壊形態
		径 (mm)	定着長 (mm)			軸	鉛直	
CASE1	引抜き	25	150	—	55.5	0.71	—	付着破壊 (120mm) とコーン破壊 (30mm)
CASE2		38		—	114.6	0.48	—	付着破壊 (70mm) とコーン破壊 (80mm)
CASE2'		38		—	60.4	7.29	—	付着破壊 (120mm) とコーン破壊 (30mm)
CASE3	せん断	25	縦100	107	133.1	1.51	14.36	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE3'		25		107	120.3	1.03	14.62	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE4		25×2		214	261.0	2.96	15.87	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE5		25×2		214	253.4	1.50	13.86	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE6		25×2		214	270.6	1.39	13.03	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE7		25×2		214	263.0	1.04	11.69	アンカーせん断、コンクリート圧壊
CASE8		38		248	265.6	3.69	22.92	コーン破壊を伴うアンカーせん断
CASE8'		38		248	280.7	2.90	27.67	アンカーせん断、コンクリート圧壊

・ 供試体名称にダッシュ (') を付したものは、アンカーボルトを横向きで施工したものである。
 ・ 材料試験結果：コンクリート：(材令38日) CASE1試験時：圧縮強度23.9N/mm²、弾性係数25,080N/mm²
 コンクリート：(材令56日) CASE8試験時圧縮強度24.7N/mm²、弾性係数23,630N/mm²
 エポキシ樹脂：(材令14日) 圧縮強度74.5N/mm²、弾性係数2,141N/mm²
 D25アンカーボルト：降伏応力368N/mm²、弾性係数195.8kN/mm²
 D38アンカーボルト：降伏応力378N/mm²、弾性係数200.8kN/mm²
 ・ 純せん断耐力はアンカーの材料試験結果をもとに $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ を適用した。
 ・ CASE4、CASE5、CASE6、CASE7は、2本のアンカーボルトを縦並びまたは横並びで配置。



写真-1 引抜き破壊 (CASE2) 写真-2 せん断破壊 (CASE3)

アンカーボルトを直接引抜くこととした。せん断試験は図-1 (b) に示すように、反力床にコンクリートブロックを固定し、アンカーボルトに荷重治具を通して上部から荷重を行った。

2.3 試験結果

2.3.1 引抜き試験

引抜き試験で得られた最大荷重及び最大荷重時変位、破壊形態を表-1に示す。CASE1、CASE2、CASE2'の3体の供試体全てで写真-1に示すようにコンクリートのコーン破壊とエポキシ樹脂の付着破壊が複合する破壊形態が確認された。

図-2に示すように、CASE2では、引抜き力はコーン破壊直後に最大となり、CASE2'はコーン破壊後に付着部分が抜けながら、変位が増加し引抜き力が最大となった。

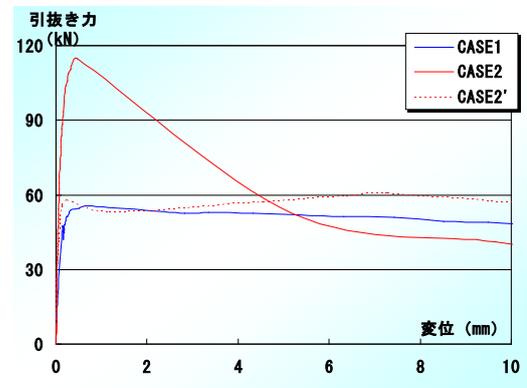


図-2 引抜き試験の引抜き力と変位の関係

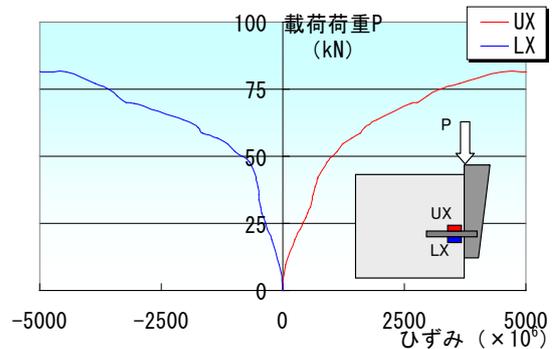


図-3 せん断試験の荷重荷重と変位の関係

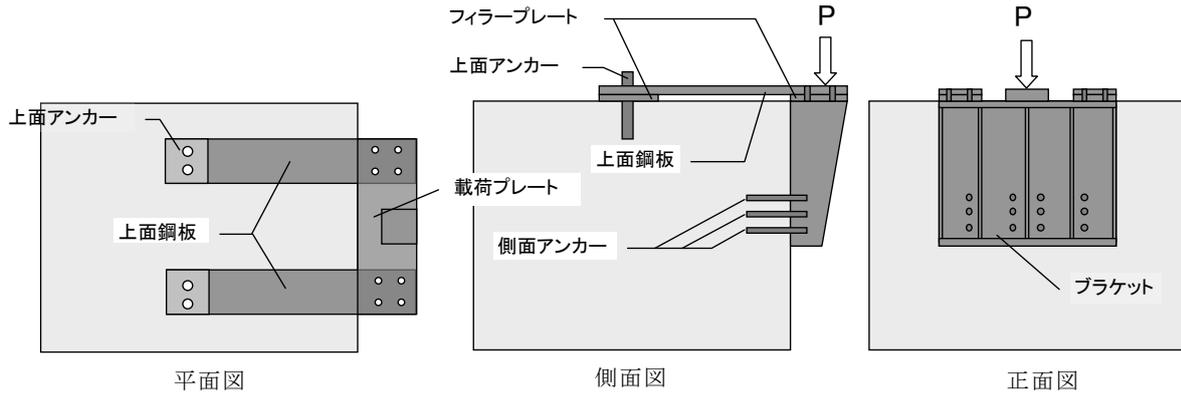


図-4 実構造供試体

このように定着長が短いとコーン破壊の形態が安定しないため、引抜き抵抗をモデル化して、設計法として示すことには困難であると考えられる。

2.3.2 せん断試験

せん断試験では、写真-2に示す試験後の供試体の例のように全てアンカーボルトの破断により実験が終了している。アンカーボルトは純粋なせん断破壊ではなくアンカーボルト側面がコンクリートに押しつけられて僅かに変形しつつ、コンクリートも削孔表面で圧壊しながら、最終的にはボルトのせん断破壊が生じたことを示している。図-3に示すように、荷重の増加とともにアンカーボルトには曲げひずみが生じている。一方、最大荷重は、表-1に示すようにいずれもアンカーボルト単体の純せん断耐力を上回り、アンカーボルトを2本配置したCASE4～CASE7の最大荷重は、アンカーボルト1本のCASE3及びCASE3'の概ね2倍程度となっている。従って、アンカーボルトの本数及び間隔、施工の条件によらない結果となった。

これらのことから、あと施工アンカーボルトに生じるせん断力は、配置及び間隔によらず、概ね定量的に評価できることが考えられる。アンカーボルトの曲げが破壊に対して支配的にならないような構造やボルト配置等の条件を設定できれば、短いアンカーボルトのせん断で抵抗力を評価した設計も可能であると考えられる。

3. 実構造試験

3.1 供試体

要素試験の結果から、定着長の短いアンカーボルトで引抜き抵抗を定量的に見込むのは困難と考えられたことから、実際のブラケット構造を模倣した実構造試験では、図-4に示すように、ブラ

表-2 実構造試験供試体諸元及び材料試験結果

供試体名称	実構造CASE1	実構造CASE2
設計荷重	300kN	600kN
側面アンカー D25	12本	24本
上面アンカー D38	4本 (1枚の上面鋼板に2本)	
上面鋼板 (mm)	1300×300×22	1050×300×22
コンクリート		
実構造CASE1	圧縮強度19.3N/mm ² 、弾性係数22.6N/mm ²	
実構造CASE2	圧縮強度19.0N/mm ² 、弾性係数23.1N/mm ²	
アンカーは要素試験に同じ		
エポキシ樹脂 圧縮強度77.3N/mm ² 、弾性係数2,202N/mm ²		



写真-3 実構造試験状況



写真-4 側面アンカー破断状況



写真-5 縁端部における上面鋼板の接触状況



写真-6 上面の破壊状況

ケットを上面と側面の2カ所でそれぞれアンカーボルトが主にせん断で抵抗させる構造とした。なお、上面鋼板の剛性が大きくなると上面アンカーボルトに引抜き力が生じる場合があるため、鋼板にはリブ等は設けておらず、さらに橋座とはフィラープレート分の隙間を設けた。これによりブラケットが下方に変位しても、上面アンカーボルトには上面鋼板を介して主にせん断力が作用する。また上面鋼板がコンクリート縁端部に干渉してコ

ンクリートの支圧破壊が生じることをできるだけ回避する。載荷試験は、表-2に示すように、側面アンカーボルトの本数及び上面鋼板のボルト間距離を変化させた2体に対して行った。

3.2 試験方法

実構造試験の状況を写真-3に示す。試験は要素試験のせん断試験で用いた試験機で同様に行った。なお、各アンカーボルト及びブラケットの変位等のデータについては、左右対称の構造であることから、載荷点を中心に片側だけ測定した。載荷試験では、2体の供試体とも各荷重段階において、側面アンカーボルトと上面鋼板及び上面アンカーボルトがどのように抵抗するかをひずみゲージ及び変位計により確認した。

3.3 試験結果

3.3.1 実構造CASE1

実構造CASE1は、荷重2060.9kNで側面アンカーボルトが破断したため試験を終了した。側面アンカーボルトは、写真-4に示すように要素試験でのせん断破壊と同様にコンクリート表面位置での破断であった。一方、上面鋼板は写真-5に示すように縁端部に接触しており、鋼板を撤去すると、写真-6に示すように接触部はコンクリートの支圧破壊がみられた。また、上面アンカーボルトは破断しなかった。

載荷荷重とブラケットの鉛直変位の関係を図-5に、上面鋼板の鉛直変位との関係を図-6にそれぞれ示す。また、アンカーボルトに貼付したひずみゲージから求めた軸力と載荷荷重の関係を図-7から図-9に示す。軸力は、アンカーボルト断面の上縁及び下縁に貼付しているひずみゲージから断面内でひずみが線形であると仮定して求めた。なお、アンカーボルトの弾性係数は、表-1に示す材料試験結果を用い、測定値が降伏ひずみに達した場合は、降伏応力が断面内部へ分布するとした。図中、符号は、正の場合は引抜き、負の場合は押し込みに作用することを表す。

図-5よりブラケットの鉛直変位は荷重とともに増加し、1000kN以降はさらに増加の割合が大きくなるものの、1200kNで僅かに勾配の変化が生じている。このとき、上面鋼板がコンクリートの縁端部に接触しており、その後、上面アンカーボルトと縁端部との間で上面鋼板が反りあがっていくために、図-6に示すように1200kN以降は上

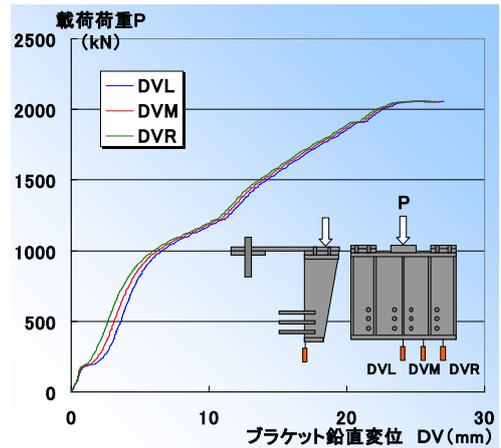


図-5 ブラケットの鉛直変位と載荷荷重の関係

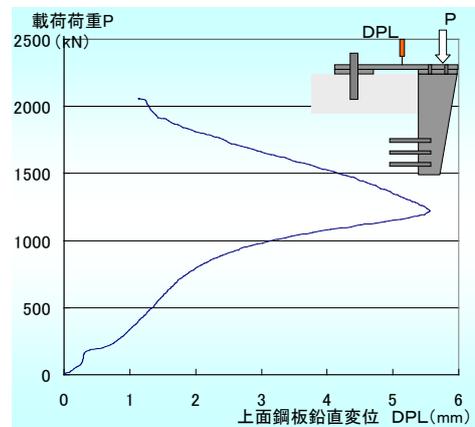


図-6 上面鋼板の変位と載荷荷重の関係

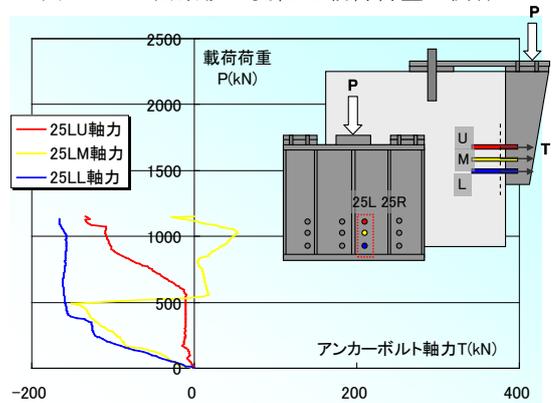


図-7 載荷荷重とアンカーボルトの軸力の関係

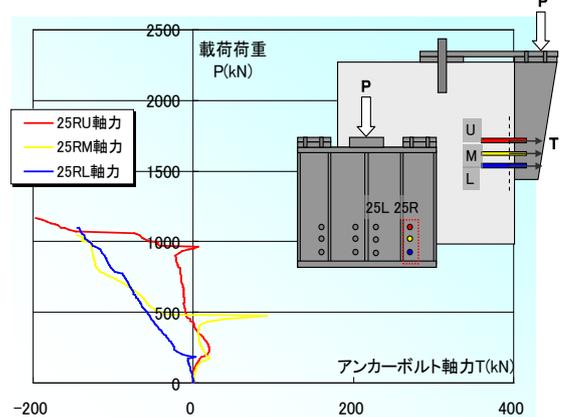


図-8 載荷荷重とアンカーボルトの軸力の関係

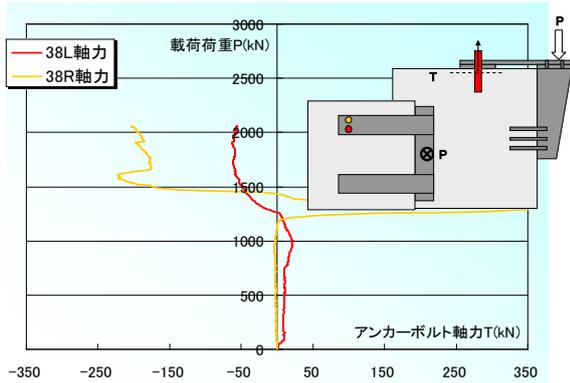


図-9 載荷荷重と上面アンカーボルト軸力の関係

面鋼板の変位が減少している。

図-7及び図-8は、コンクリート表面から深さ30mmの断面における軸力であるが、図-7に示すように載荷直下のアンカーボルトには、荷重の増加とともに、押し込みが作用することが分かる。また、図-8に示すように外側に配置したアンカーボルトは、載荷荷重500kNまでは上段、中段のアンカーボルトに引抜きが生じているが、それ以降は押し込みとなっている。しかしながら、ひずみゲージが載荷荷重1000kNから1400kNの間で断線したため、図-5及び図-6における載荷荷重1200kNで確認された、変位の変化点以降のアンカーボルトの軸力の状況については確認できなかった。

図-9は、上面アンカーボルトに生じる軸力を示している。図より、載荷荷重1200kNまでは、特に軸力に大きな変化はないものの、上面鋼板が縁端部に接触した1200kN付近では、軸力が急激に変化し、その後は、試験終了まで押し込みが生じていることが分かる。

以上より、最大荷重(2060.9kN)は、側面アンカーボルトの純せん断耐力の合計値(1284kN)を上回ったものの、試験ではコンクリート上端部も抵抗に寄与したため、アンカーボルトによる耐力への寄与度は明らかとならなかった。すなわち、荷重の伝達は、上面鋼板が縁端部に接触するまでは側面アンカーボルトが、接触後は側面アンカーボルト及びコンクリート縁端部へと変化したと考えられるが、各アンカーボルトの荷重分担については、確認することができなかった。

3.3.2 実構造CASE2

実構造CASE2は図-10に示すように、荷重2120.1kN、ブラケットの鉛直変位約8mmで載荷試験機の載荷能力の限界に達したため、未破壊に

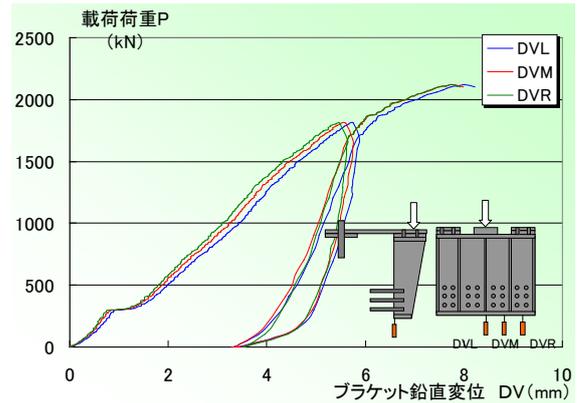


図-10 ブラケットの鉛直変位と載荷荷重の関係

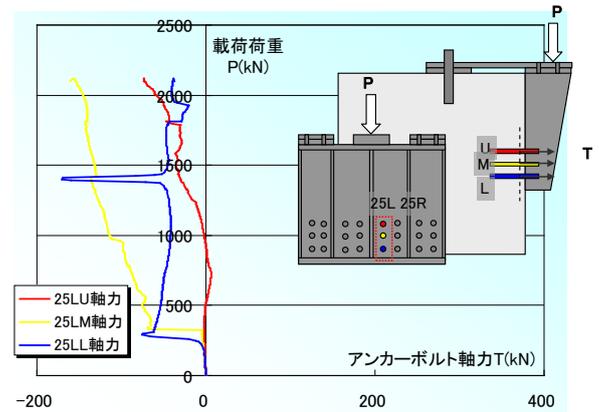


図-11 載荷荷重とアンカーボルトの軸力の関係

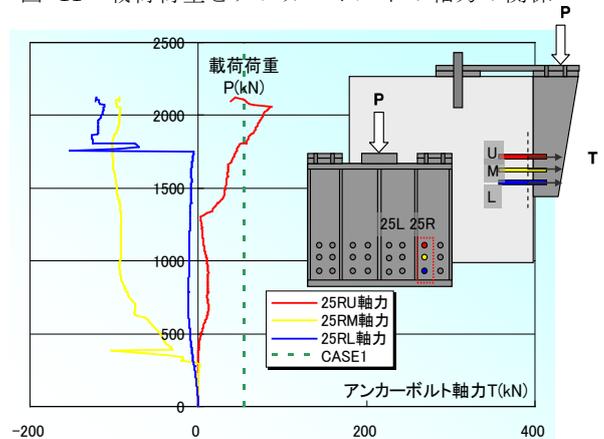


図-12 載荷荷重とアンカーボルトの軸力の関係

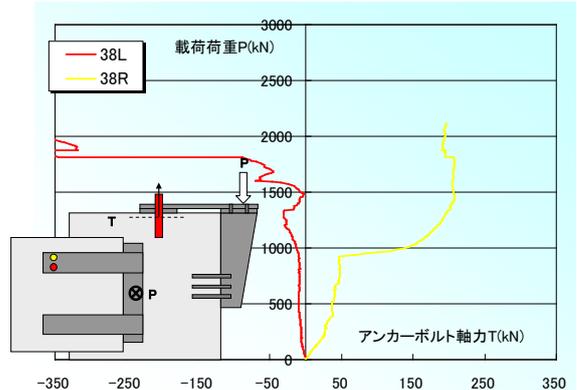


図-13 載荷荷重と上面アンカーボルト軸力の関係

て試験を終了した。図のように荷重1800kNを載荷した時点で一度除荷し、再度載荷を行っている。

図-11及び図-12に示す側面アンカーボルトの載荷荷重と軸力の関係より、アンカーボルトには、押込みが生じているが、図-12に示すように、上段のアンカーボルト（25RU）には、引抜きが生じていることが分かる。なお、図には比較のため、引抜き試験（CASE1）を併せて示している。一方、図-13に示すように上面アンカーボルトにも、それぞれ引抜き力及び押込みが作用していることが分かる。これらの図より要素試験よりも大きな引抜き力が生じているが、破断しないのは、他のアンカーボルトが荷重を分担していることが影響していると考えられる。本供試体の場合、上面鋼板が縁端部に接触していない状態で試験が終了しているが、縁端部に接触してからの荷重の伝達を考慮すると、破壊時荷重はさらに大きくなることが予想される。実構造CASE1及び実構造CASE2の試験結果から、ひずみを測定した各アンカーボルトの軸力は、概ね押込み領域となり、短いアンカーボルトとして安全側に挙動を示すものの、一部で押込みから引抜きに急激に変化し不連続な軸力を示すなど、不安定な軸力挙動となっている。このことより、ひずみを測定していないアンカーボルトにも局部的に大きな軸力が生じていることが予想され、複雑な抵抗機構で荷重を分担していることが考えられる。実用化にあたっては、これらのアンカーボルトの軸力に、致命的となる引抜き力が作用しないような構造とすることが必要である。

4. まとめ

既設コンクリート橋脚に対して内部鋼材との干

渉を防ぐため、短いアンカーボルトを用いて、あと施工のブラケットを設置する構造について、実験的検討を行った。要素試験では、アンカーボルトの引抜き試験とせん断試験の2種類を実施したが、定着長が短いアンカーボルトは引抜きに対して破壊形態が安定せず、エポキシ樹脂部での破壊とコンクリート部のコーン状破壊の複合形態での破壊となり耐力も実験結果によりまちまちであった。一方、アンカーボルトをせん断抵抗させる構造とすると、従来よりも短い定着長（150mm）であっても、アンカーボルトのせん断耐荷力に相当する抵抗が期待できることが分かった。

アンカーボルトのせん断力により荷重に抵抗するブラケット構造をモデル化した実構造試験では、一部のアンカーボルトに引抜き力が生じたことから、設計で期待するせん断力を発揮するためには、一定レベル以上の引抜き力が生じないような構造とする必要がある。このため、今後、こうした引抜き力を生じさせないブラケットの剛性やアンカーボルト配置に関する条件、既設コンクリート側の条件などについて、引き続き検討を進め、より合理的な定着構造を提案していきたい。

なお、本実験を実施するにあたっては、(独)土木研究所の技術推進本部構造物マネジメント技術チーム、耐震研究グループ耐震チーム、構造物研究グループ橋梁チーム及び基礎チームの協力を得て、技術的なアドバイスを戴いた。ここに謝意を表したい。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室：橋座部の水平耐力の評価に関する研究、土木研究所資料第3497号、平成9年2月

玉越隆史*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

小林 寛**



外務省 国際協力局多国間協力課 課長補佐 (前国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官)
Hiroshi KOBAYASHI

川間重一***



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室研究官
Shigeichi KAWAMA

平塚慶達****



ショーボンド建設株式会社 (前国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室交流研究員)
Yoshisato HIRATSUKA