

論文 あと施工アンカーの耐力に関する実験的研究

塩畑 英俊*1・野島 昭二*2・林 和彦*3

要旨: 鉄筋コンクリート巻立て工法において軸方向鉄筋を既設フーチングに定着することを想定した、あと施工アンカーの耐力を照査する方法について検討した。既設フーチングを模擬した供試体に上面配筋状態、コンクリート強度、削孔方法、削孔径、アンカー鉄筋の種類、定着長、接着剤の種類などをパラメータとした引抜き実験を行った。得られた実験結果から、アンカーの引抜きを伴うコーン状破壊の耐力とアンカー鉄筋の破壊耐力との最小値とする耐力算定式を提案した。

キーワード: 鉄筋コンクリート巻立て工法、あと施工アンカー、樹脂アンカー、耐力算定式

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以降、既設橋梁の震災対策が進められている。既設鉄筋コンクリート橋脚の震災対策では、鉄筋コンクリートを巻立てる工法が一般的な工法として用いられている。鉄筋コンクリート巻立て工法では、耐力を向上させる場合、巻立て部の新たな軸方向鉄筋を既設フーチングにアンカー定着する必要がある。既設フーチングへのアンカー定着は、あと施工アンカーとなり、既設フーチングの鉄筋に傷つけないように行う必要があるが、既設フーチングの配筋状況によっては、設計で想定した位置や定着長を確保できない場合が生じる。本論文は、このような状況を踏まえ、あと施工アンカーの耐力を照査する手法を検討するために行った、実験的研究に関するものである。なお、本研究のあと施工アンカーは、高速道路会社において、鉄筋コンクリート巻立て工法のアンカー定着に標準的¹⁾に用いている樹脂アンカーを想定したものである。

2. 実験概要

2.1 実験条件

あと施工アンカーの施工対象である既設フーチングのコンクリート強度、配筋状態、アンカー鉄筋の種類、削孔方法、削孔径、定着長、接着剤の種類、端部アンカー、群アンカーの影響などをパラメータとして変化させ、各実験ケースに対して供試体数を3体とし、合計93本(群アンカーは1ケースで3本)のあと施工アンカーの引抜き実験を行った。実験ケース一覧を表-1に示す。

表-1中には、各実験ケースで用いたコンクリートの圧縮強度、配筋の有無、アンカー鉄筋の材料特性、定着長、削孔径、削孔方法、接着剤の種類を記載している。

(1) 基本ケース

NO.1-11 および NO.2-1 は基本ケースである。供試体寸

法、ジャッキの容量等を考慮して、アンカー鉄筋は、SD345のD16を10φ(φ:鉄筋径)の定着長とした。コンクリートの設計基準強度は、既設フーチングの設計基準強度24N/mm²を目標とし、それぞれ23.1N/mm²、22.6N/mm²の無筋コンクリートとした。削孔径は、鉄筋径プラス10mmとした。削孔方法は、実施工を想定してハンマードリルによる削孔とした。ここで、市販のドリル径の都合により、実際の供試体削孔径は25.5mmとした。接着剤は設計基準で標準的に用いているエポキシ系を用いた。その材料特性は後述する。

なお、以降のデータ整理では、基本ケースとしたNO.1-11およびNO.2-1のコンクリート強度に大差が無いことから同一の実験条件として扱っている。

表-1 実験ケース

実験ケース No.	コンクリート				あと施工アンカー												
	圧縮強度 Fc [N/mm ²]	鉄筋種類	間隔 [mm]	かぶり [mm]	配筋	種別	材質	径	降伏強度 [N/mm ²]	定着長 [mm]	削孔径 [mm]	削孔方法	接着剤*				
No.1-1	23.1	SD345 D16	150	50	無筋	SD345	D16	370	160	25.5	160	ドリル	E				
No.1-2														320	42.0		
No.1-3																42.0	
No.1-4	54.0	SD345 D16	150	50	無筋	SD345	D16	370	160	25.5	160	ドリル	E				
No.1-5														28.1	コア		
No.1-6																25.5	ドリル
No.1-7														42.0	E		
No.1-8																320	42.0
No.1-9														28.1	コア		
No.1-10																41.1	E
No.1-11														25.5	ドリル		
No.1-12	240	25.5															
No.1-13			320	25.5													
No.1-14	160	—															
No.1-15			320	—													
No.2-1	22.6	無筋					SD345	D16	418	160	25.5	160	ドリル	E			
No.2-2			SD2345 ^{※2}	D16											394	160	25.5
No.2-3 ^{※3}																	
No.2-4 ^{※3}			D32	401											100	40.0	
No.2-5 ^{※3}																	SD685
No.2-6			160	25.5													
No.2-7															160	25.5	
No.2-8			160	25.5													
No.2-9															160	25.5	
No.2-10			160	25.5													
No.2-11 ^{※5}															160	25.5	
No.2-12 ^{※6}			160	25.5													
No.2-13															SD345	D16	418
No.2-14			SD685	D16													

注) ※1 接着剤
E: エポキシ系
M: メタクリル系
A: アクリル系
C: セメント系
※2 ねじふし鉄筋を使用
※3 等しい樹脂周面積としたケース
※4 削孔長240mmのうち下側160mmを定着
※5 アンカー鉄筋のかぶりを35mmとしたケース
※6 アンカーピッチ150mmで3本配置したケース

*1 (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部橋梁研究室研究員 (正会員)

*2 (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部橋梁研究室主任研究員 (正会員)

*3 横浜国立大学大学院 工学研究院 特別研究教員 博(工) (正会員)

(2) コンクリート強度の影響

既往の文献²⁾により、あと施工アンカーの耐力に影響を及ぼす要因の一つとしてコンクリート強度が挙げられている。そこで、本実験では、その影響を評価するためにコンクリート強度をパラメータの一つとした。

NO.1-4～NO.1-8 および NO.2-13～NO.2-14 において、基本ケースのコンクリート強度に対して、それぞれ、54.0 N/mm² および 32.5 N/mm² と変化させた。

このうち、NO.1-5 および NO.2-13 は、基本ケースに対してコンクリート強度のみ変化させたケースである。

NO.1-1 および NO.1-6 は、上面配筋を配置し、コンクリート強度を変化させたケースである。

NO.1-4 および NO.1-9 は、削孔方法をコアとし、コンクリート強度を変化させたケースである。

NO.2-6 および NO.2-14 は、アンカー鉄筋に SD685 D16 を用い定着長を 20φ として、コンクリート強度を変化させたケースである。なお、SD685 を用いたのは、破壊形態がアンカー鉄筋の破断とならないようにすることが目的である。

NO.1-2, NO.1-7 および NO.1-3, NO.1-8 は、上面配筋を配置し、アンカー鉄筋を SD345 D32 として、定着長をそれぞれ 10φ および 20φ として、コンクリート強度を変化させたケースである。

(3) 上面配筋の影響

SD345 D16 をかぶり 50mm の位置に 150mm 間隔で格子状に配置し、中央にあと施工アンカーを施工した。図-1 に配筋状況およびアンカー施工位置の関係を示す。

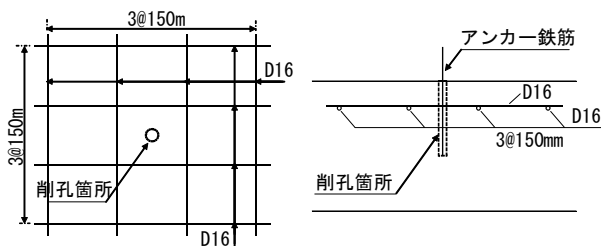


図-1 上面配筋状況およびアンカー施工位置

NO.1-1, NO.1-11 および NO.2-1 は、基本ケースに対して上面配筋の有無を変化させたケースである。

NO.1-5 および NO.1-6 はコンクリート強度 54.0N/mm² で上面配筋の有無を変化させたケースである。

(4) 鉄筋径の影響

NO.1-1 および NO.1-2 は、上面配筋有り、コンクリート強度 23.1N/mm² でアンカー鉄筋径を D16 および D32 と変化させたケースであり、NO.1-6 および NO.1-7 は、上面配筋有り、コンクリート強度 54.0N/mm² でアンカー鉄筋径を D16 および D32 と変化させたケースである。なお、D32 のアンカー鉄筋の削孔径も、基本ケースと同様

に鉄筋径プラス 10mm とした。

(5) 定着長の影響

定着長を鉄筋径の 5～20 倍の範囲で変化させた。

NO.1-11, NO.1-12, NO.1-13 および NO.2-1 は、基本ケースに対し、定着長を 10φ, 15φ および 20φ と変化させたケースである。

NO.1-2 および NO.1-3 は、上面配筋有りで、アンカー鉄筋 D32 の定着長を 5φ および 10φ と変化させたケースであり、NO.1-7 および NO.1-8 は、これに対し、コンクリート強度 54.0N/mm² としたケースである。

(6) 削孔径の影響

NO.1-9 および NO.1-10 は削孔径の影響を評価するために、接着剤とコンクリートとの摩擦抵抗が低いと考えられるコアによる削孔方法に対して、削孔径をそれぞれ 28.1mm および 41.1mm と変化させたケースである。

(7) 削孔方法の影響

NO.1-4 および NO.1-5 は、コンクリート強度 54.0N/mm² で、NO.1-9 および NO.1-11 は、コンクリート強度 23.1N/mm² で、削孔方法をそれぞれハンマードリルおよびコアドリルと変化させたケースである。

(8) 定着方法の影響

あと施工アンカーの対照実験として、埋込みアンカーとの違いを検討した。NO.1-11, NO.1-14 および NO.1-13, NO.1-15 は、D16 で、それぞれ、定着長を 10φ, 20φ と変化させたケースである。

(9) 接着剤の細長比の影響

NO.2-1, NO.2-3, NO.2-4 および NO.2-5 は、基本ケースにおいて接着剤の周面積が同一となるように、定着長および削孔径を変化させたケースである。

(10) 接着剤の影響

NO.2-1, NO.2-7, NO.2-8 および NO.2-9 は、基本ケースにおいて接着剤の種類を変化させたケースである。基本ケースのエポキシ系に対して、それぞれ、メタクリル系、アクリル系およびセメント系の接着剤を用いたものである。表-2 に接着剤の材料特性を示す。

表-2 接着剤の材料特性

接着剤種別	圧縮強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	引張せん断 接着強度 [N/mm ²]	圧縮弾性係数 [N/mm ²]	可使時間 (20°C時)	備考
エポキシ系	74.3	51.1	16.4	2050	49min	No.1-1～15
	77.4	51.6	17.3	2110	49min	No.2-1～14
メタクリル系	55.5	7.31	—	1400	6min	
アクリル系	156	33.7	10.6	1830	6min	
セメント系	50.2～74.0	—	8.78～12.8	19200～30400	10～20min	

(11) 端部施工の影響

NO.2-1 および NO.2-11 は、実施工への対応を検討するために行ったものであり、あと施工アンカー鉄筋のかぶり、設計基準³⁾における最小かぶりである 35mm とな

る位置に配置したケースである。

(12) 近接施工の影響

NO.2-1 および NO.2-12 は、前項と同様に、実施工への対応を検討するために行ったものであり、実施工を D32 300mm 間隔と想定し、その 1/2 スケールとして設定し、D16 150mm 間隔で 1 供試体あたり 3 本としたものである。

(13) ふし形状の影響

NO.2-1 および NO.2-2 は、アンカー鉄筋のふし形状の影響を検討するために、アンカー鉄筋に、ねじふし形状の鉄筋を用いたものである。

(14) コーン破壊部の影響

あと施工アンカーの破壊形態は、コンクリートのいわゆるコーン破壊とアンカーの拔出しとの複合的な破壊形態も考えられる。NO.2-1 および NO.2-10 は、この影響を比較するためのケースであり、コーン破壊部が耐力に与える影響を検討するため、アンカーのコンクリート内部鉛直上側 80mm を非定着とし、下側 160mm を定着とした。図-2 にその模式図を示す。

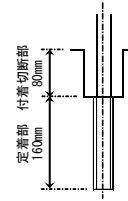


図-2 コーン破壊部の影響供試体模式図

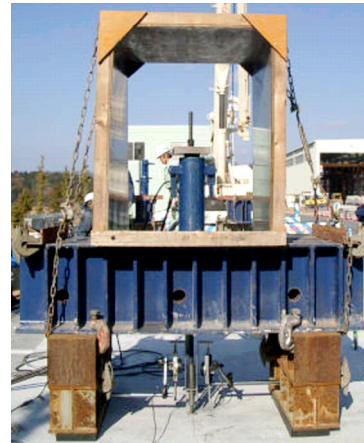


写真-1 荷重装置状況

2.2 実験供試体

供試体は、関連する実験ケースで、極力、同一供試体となるように配慮し、施工ヤードの条件から大きさを決定し、一辺を 3m~4m とした。供試体の厚さは、基本ケースで 300mm とし、アンカーの定着長が長いケースでは、400mm を基本とした。あと施工アンカー施工位置は、アンカーのコーン破壊を想定して、アンカー鉄筋先端から 45° の傾斜角をもつ破壊面が相互に影響を及ぼさないように決定した。

2.3 荷重方法および計測項目

本実験で用いた荷重装置を写真-1 に示す。荷重装置は荷重梁及び脚部材、油圧式センターホールジャッキ、ロードセル、穴あき鋼板で構成される。ジャッキの操作には電動ポンプを用いた。この荷重装置を供試体上に設置し、供試体自身から反力を得る荷重方法とした。荷重点としてアンカー鉄筋の上端付近にナット固定し、ジャッキ上に設置した鋼板を介して荷重を伝える構造である。脚部材のスパンは、800mm を基本とし、群アンカーの NO.2-12 では、1100mm とした。

計測項目は、引抜き荷重およびアンカーの変位である。変位の計測はアンカーの表側および裏側に設置した 2 本の変位計を用いて行った。変位計測点はアンカー鉄筋の上端付近のナット部で計測した。なお、供試体内部におけるアンカー鉄筋のひずみ計測は行っていない。

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果一覧

表-3 に実験結果一覧を示す。アンカーの破壊形態は、表中の①~⑦のいずれかであった。

表-3 実験結果一覧

実験 ケース No.	引抜き実験結果							
	供試体1		供試体2		供試体3		平均値	
	最大荷重 [kN]	破壊 形態	最大荷重 [kN]	破壊 形態	最大荷重 [kN]	破壊 形態	荷重 [kN]	破壊 形態
No.1-1	111	②	86	①	65	①	76	①
No.1-2	157		154	①	171	①	163	①
No.1-3	205	①	229		226	①	216	①
No.1-4	112	⑤	114	⑥	116	⑥	112	⑤
No.1-5	118	⑥	117	⑥	115	⑥	117	⑥
No.1-6	118	⑥	115	⑥	115	②	115	②
No.1-7	215	②	211	②	200	②	209	②
No.1-8	420	⑥	452	②	455	⑥	452	②
No.1-9	81	①	84	①	81	①	82	①
No.1-10	118	⑥	122	⑥	119	⑥	120	⑥
No.1-11	76	①	110	②	88	①	82	①
No.1-12	123	⑥	117	⑥	105	①	105	①
No.1-13	122	⑥	121	⑥	116	⑥	120	⑥
No.1-14	37	⑦	66	⑦	70	⑦	58	⑦
No.1-15	78	⑦	78	⑦	77	⑦	78	⑦
No.2-1	95	①	80	①	76	①	84	①
No.2-2	77	①	76	①	79	①	77	①
No.2-3	68	①	51	①	46	①	55	①
No.2-4	92	②	89	②	82	②	88	②
No.2-5	108	③	110	③	108	③	109	③
No.2-6	124	①	112	①	120	①	119	①
No.2-7	97	②	94	②	95	②	95	②
No.2-8	42	②	71	②	96	①	57	②
No.2-9	120	⑥ ^{*1}	125	⑥	121	⑥ ^{*1}	125	⑥
No.2-10	91	④	96	④	100	④	96	④
No.2-11	60	①	62	①	60	①	61	①
No.2-12	82 ^{*2}	①	60 ^{*2}	①	60 ^{*2}	①	67	①
No.2-13	100	①	93	①	101	①	98	①
No.2-14	120	①	125	①	127	①	124	①

注) 破壊形態
 ①: コーン破壊+樹脂-コンクリート界面の付着破壊
 ②: コーン破壊+鉄筋-樹脂界面の付着破壊
 ③: コーン破壊
 ④: 樹脂-コンクリート界面の付着破壊
 ⑤: 鉄筋-樹脂界面の付着破壊
 ⑥: 鉄筋の破断もしくは破断直前まで荷重
 ⑦: コーン破壊+鉄筋-コンクリート界面の付着破壊
 ※1 鉄筋の破断直前で荷重終了
 ※2 3本の引抜き実験結果のうち最小の値

各実験ケースにおける平均値の欄には、破壊形態が異なる場合は最小値、破壊形態が一致している場合はそれ

らの平均値を採用した。以降の考察は、各実験ケースの代表値として、平均値に記載した値を用いている。なお、NO.1-2 の供試体 1 および NO.1-3 の供試体 2 は、コーン破壊を伴う破壊形態であったが、供試体内部の破壊形態が特定できなかったため、不明として空欄にした。

3.2 実験結果と考察

(1) コンクリート強度による影響

基本ケースの NO.1-5, NO.1-11, NO.2-1 および NO.2-13 のアンカー耐力は、供試体のコンクリート強度の大きさに応じて緩やかに上昇している。定着長を 20ϕ とした NO.2-6 および NO.2-14 でも類似した傾向であった。図-3 は、これらの関係を図示したものである。

図-3 より基本ケースでは、アンカー耐力はコンクリート強度の $1/3$ 乗に比例することを確認した。このことは、既往の文献²⁾と類似する傾向である。図中の近似曲線がこの関係を示すものである。

削孔方法をコアとした NO.1-4, NO.1-9 および上面配筋を配置した NO.1-1, NO.1-6 では、コンクリート強度の増加による大きな差は見られなかった。

上面配筋を配置し、D32 アンカーで定着長を 5ϕ とした NO.1-2, NO.1-7 および定着長を 10ϕ とした NO.1-3, NO.1-8 では、コンクリート強度の増加によりアンカー耐力が上昇した。また、破壊形態はコンクリート強度の増加にともない、樹脂とコンクリート界面の付着破壊から鉄筋と樹脂界面の付着破壊に変化した。

(2) 上面配筋の影響

上面背筋の有無をパラメータとした、NO.1-1, NO.1-11, NO.2-1 および NO.1-5, NO.1-6 の実験結果より、上面背筋がアンカー耐力に及ぼす影響は低いことが分かった。

(3) 鉄筋径の影響

鉄筋径をパラメータとした、NO.1-1, NO.1-2 および NO.1-6, NO.1-7 の実験結果では、鉄筋径の増加により耐力が上昇した。これは、鉄筋径が増加すると周面積が増加するためだと考えられる。この結果は、後述する耐力算定式に反映することとした。

(4) 定着長の影響

定着長をパラメータとした、NO.1-11, NO.2-1, NO.1-12, NO.1-13 および NO.1-2, NO.1-3, NO.1-7, NO.1-8 の実験結果より定着長が長いほど耐力が大きくなることが分かった。鉄筋-樹脂の付着破壊を伴う複合破壊である、NO.1-7 および NO.1-8 では、定着長が 2 倍になると耐力もおよそ 2 倍となるが、樹脂-コンクリート界面の破壊を伴う複合破壊では定着長ほど耐力は大きくならないことが分かった。破壊形態により定着長による影響の大小に違いがあることが分かった。

(5) 削孔径の影響

削孔径をパラメータとした、NO.1-9 および NO.1-10 の

実験結果より、削孔径が大きいほど耐力は大きく、破壊形態は鉄筋の破断となった。削孔径が大きくなることで、樹脂-コンクリート界面の破壊を伴う複合破壊耐力が鉄筋の破断耐力よりも大きくなったためだと考えられる。

(6) 削孔方法の影響

削孔方法をパラメータとした、NO.1-4, NO.1-5 および NO.1-9, NO.1-11 の実験結果より、削孔方法の違いによる影響は低いことが分かった。

(7) 定着方法の影響

定着方法をパラメータとした、NO.1-11, NO.1-14 および NO.1-13, NO.1-15 の実験結果より、あと施工アンカーの耐力がコンクリート定着よりも大きいことが分かる。これは、あと施工アンカーのほうが、コンクリートとの付着面積が大きいためだと考える。

(8) 接着剤の細長比の影響

接着剤の周面積を同一とした NO.2-1, NO.2-3, NO.2-4 および NO.2-5 の実験結果より、樹脂の周面積が等しくても定着長 L と削孔径 ϕ の比で定義する細長比 L/ϕ の値が大きくなると耐力は小さくなることが分かった。図-4 はこの関係を示すものである。

(9) 接着剤の影響

接着剤の種類をパラメータとした、NO.2-1, NO.2-7, NO.2-8 および NO.2-9 より、メタクリル系およびセメント系の接着剤はエポキシ系の接着剤と同等以上の耐力を有することが分かった。

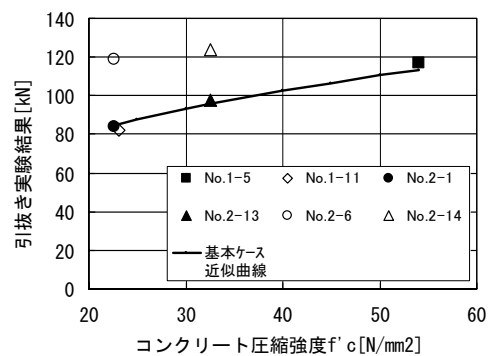


図-3 コンクリート強度とアンカー耐力

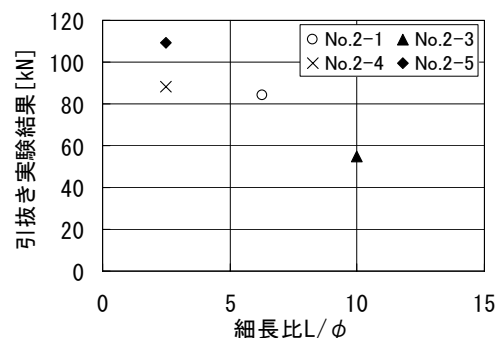


図-4 細長比とアンカー耐力の関係

(10) 端部施工の影響

NO.2-1 および NO.2-11 の実験結果より、端部施工の影響は、通常のおよそ7割であることが分かった。

(11) 近接施工の影響

NO.2-1 および NO.2-2 の実験結果より、近接施工の影響は、通常のおよそ8割であることが分かった。

(12) ふし形状の影響

NO.2-1 および NO.2-2 の実験結果より、ふし形状の影響は低いことが分かった。

(13) コーン破壊部の影響

NO.2-1 および NO.2-10 の実験結果より、コーン破壊部は耐力にほぼ影響しないことが分かった。

3.3 実験パラメータに対するまとめ

実験パラメータに対するまとめを表-4 に示す。表中では、実験パラメータに対する実験結果の傾向と次節以降で示す耐力算定式の方針について記載している。

表-4 実験パラメータに対するまとめ

実験パラメータ	実験結果の傾向	方針
コンクリート強度	コンクリート強度が高くなると耐力は上昇する。しかし、定着長が長くなるとコンクリート強度が耐力に及ぼす影響は小さくなる。	耐力算定式では、コンクリート強度をパラメータとする。
削孔径と定着長	樹脂周面積が等しくても細長比 (L/φ) が大きくなると耐力は小さくなる。	耐力算定式では、細長比をパラメータとする。
施工位置	標準部の耐力に比べ、端部施工は約7割、群施工は約8割の耐力となる。	低減係数を考慮する。
ふし形状	ふし形状の違いによる耐力差は無いといえる程度である。	異形鉄筋であれば、ふし形状の違いによる耐力差は無い。
コーン破壊部	コーン破壊を伴わない付着のみの破壊となる場合の耐力は、コーン破壊+付着破壊となる場合の耐力に比べ1割程度の上昇である。	コーン破壊部は耐力にほぼ影響しないため、耐力算定式は、付着破壊によって表す。

4. 耐力算定式の提案

4.1 耐力算定式

守屋らの研究⁴⁾によると、あと施工アンカーの破壊形態のうち、コーン状の破壊について以下の3つのモードに分類している。

- a) 純粋なコーン破壊
- b) コンクリート表面に放射状のひび割れを伴うコーン状破壊
- c) アンカーの引抜きを伴うコーン状破壊

耐力については、a) > b) > c) の順となる。したがって、あと施工アンカーの破壊耐力としては、破壊モード c) の耐力とアンカー鉄筋の破断耐力との最小値とするのが適当であると考えられる。

以上より、式(1)にあと施工アンカーの耐力算定式を示す。なお、ここでは、コーン破壊の影響を検討するため

に実施した NO.2-1 および NO.2-10 の実験結果より、コーン破壊部は耐力にほぼ影響しない結果が得られたため、コーン破壊を伴う場合でも、付着破壊部に着目した耐力算定式とした。

$$P_a = \min(P_{sy}, P_\phi, P_D) \tag{1}$$

ここに、

- P_a : あと施工アンカーの耐力[N]
- P_{sy} : アンカー鉄筋の降伏耐力[N]
- P_ϕ : 樹脂-コンクリート界面の付着耐力[N]
- P_D : 鉄筋-樹脂界面の付着耐力[N]

4.2 樹脂-コンクリート界面の付着耐力

(1) 樹脂-コンクリート界面の平均せん断強度

図-5 は特殊な実験ケースを除いた、樹脂の細長比と樹脂とコンクリート界面の平均せん断強度係数との関係を示したものである。

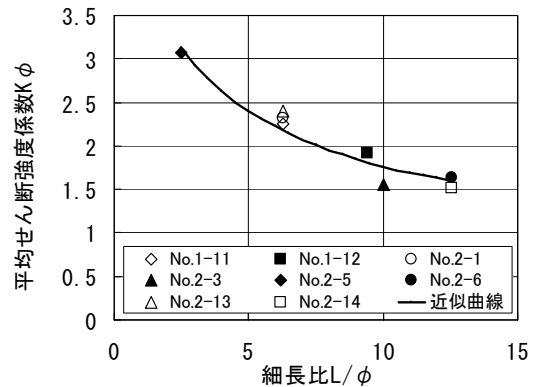


図-5 L/φ と K_φ の関係

ここで、平均せん断強度係数 K_ϕ とは、アンカーの引抜き実験結果が、コンクリート圧縮強度の 1/3 乗に比例するとして、式(2)から算出したものである。1/3 乗に比例する関係は、基本ケースの実験結果より導かれたものである。

$$K_\phi = \frac{P_{\phi Exp}}{\pi \cdot \phi \cdot L \cdot f_c^{1/3}} \tag{2}$$

ここに、

- $P_{\phi Exp}$: 樹脂-コンクリート界面付着破壊を伴う場合の実験結果[N]
- ϕ : 削孔径[mm]
- L : 定着長[mm]
- f_c : コンクリート圧縮強度[N/mm²]

図-5 中に示す関数は、これらの値の近似曲線であり、式(3)で示される。

$$K_\phi = \frac{14}{L/\phi + 3.3} + 0.71 \tag{3}$$

(2) 樹脂-コンクリート界面の付着耐力算定式

以上の関係から、樹脂-コンクリート界面の付着耐力

算定式を式(4)に示す。

$$P_{\phi} = k \cdot K_{\phi} \cdot \pi \cdot \phi \cdot L \cdot f_c^{1/3} \quad (4)$$

ここに、

P_{ϕ} : 樹脂-コンクリート界面の付着耐力[N]

k : 施工位置による低減係数

k は、NO.2-11 および NO.2-12 の実験結果より、端部アンカーの場合 0.7、群アンカーの場合 0.8 とする。

(3) 計算値と実験値の比較

図-6 に式(4)で求めた耐力の計算値と実験値の関係を示す。この範囲内では、精度良くアンカー耐力を評価できていると考えられる。

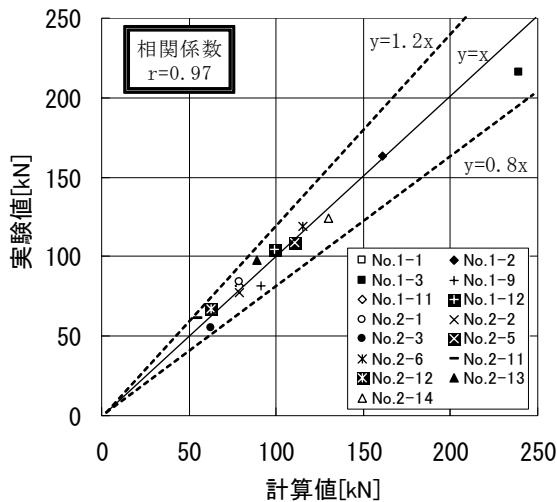


図-6 計算値と実験値の比較

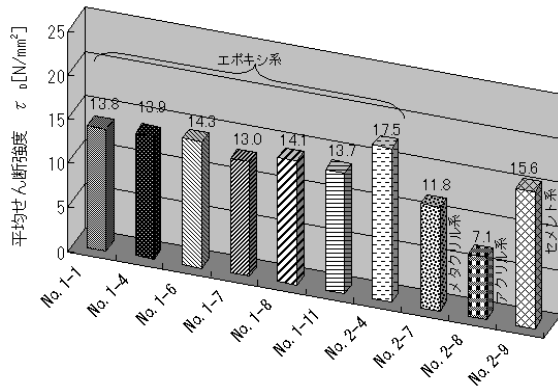


図-7 鉄筋と樹脂界面の付着破壊を伴う実験結果における τ_D の計算値

4.3 鉄筋-樹脂界面の付着耐力

鉄筋-樹脂界面の付着耐力算定式を式(5)で表す。

$$P_D = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_D \quad (5)$$

ここに、

P_D : 鉄筋-樹脂界面の付着耐力[N]

D : アンカー鉄筋の外径[mm]

τ_D : 鉄筋-樹脂界面の平均せん断強度[N/mm²]

図-7 に式(5)の関係より、鉄筋と樹脂界面の付着破壊を

伴う実験値を用いて算出した τ_D の値を示す。エポキシ系およびメタクリル系の場合は、 τ_D を 11.0[N/mm²]とすれば安全側の値と考えられる。

5. まとめ

あと施工アンカーの耐力算定式を提案するために、実験を行い、得られた結果から、あと施工アンカーの耐力算定式を提案した。以下に得られた知見についてまとめる。

- (1) 樹脂-コンクリートの界面の付着破壊の耐力はコンクリート強度に応じて大きくなるが、定着長が長くなるとその影響は小さくなる。
- (2) アンカーの破壊形態によって、定着長による影響の大小に違いがある。鉄筋-樹脂の付着破壊を伴う場合は定着長が 2 倍になると耐力も 2 倍となる。
- (3) 樹脂の周面積が等しくても定着長 L と削孔径 ϕ の比で定義する細長比 L/ϕ の値が大きくなると耐力は小さくなる。
- (4) 鉄筋かぶり 35mm の端部アンカーは、通常と比べて耐力が約 7 割まで低下する。
- (5) 150mm ピッチで 3 本近接施工した群アンカー 1 本あたりの耐力は、通常と比べて約 8 割まで低下する。
- (6) アンカーは純粋な付着破壊の方がコーン破壊を伴う場合よりも耐力が大きいが、1 割程度の上昇である。
- (7) 実験結果から、アンカーの引抜けを伴うコーン状破壊の耐力とアンカー鉄筋の破断耐力との最小値とする耐力算定式を提案した。

謝辞

本研究では、横浜国立大学池田尚治名誉教授、椿龍哉教授に助言を頂いた。実験結果の取りまとめには(株)日本構造橋梁研究所前田晴人氏をはじめ関係者の多大な協力を得た。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領，2009.7
- 2) 財団法人 鉄道総合技術研究所：あと施工アンカー工法設計施工の手引き，1988.11
- 3) 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，2002.3
- 4) 守屋嘉晃，橋本敏男，高橋仁，川上修，伊藤嘉則：接着系あと施工アンカーの引き抜き耐力に及ぼす各影響因子に関する研究（その 1~3），日本建築学会学術講演梗概集，pp.71-76，2002.8