

論文 セン断力と引張力を受けるあと施工アンカーの耐荷力に関する検討

笠 裕一郎*1・岡本 大*2・三倉 寛明*1・田所 敏弥*2

要旨: 落橋防止工の設置などに用いられる, セン断力と引張力を同時に受ける接着系あと施工アンカーの耐荷力を把握するため, セン断力, 引張力, および両者を同時に作用させたあと施工アンカーの載荷試験を行った。その結果, セン断力と引張力を同時に受けるあと施工アンカーの現行の設計法は, 概ね耐荷機構を適切に評価しており, 破壊に対してある程度の余裕を有していることを確認した。ただし, 群効果や縁端寸法, あるいは母材コンクリートのひび割れの影響により, 耐荷力が低下する可能性があることがわかった。

キーワード: あと施工アンカー, 落橋防止工, セン断力, 引張力, 縁端寸法, 群効果

1. はじめに

橋梁における大規模地震への対策として, 落橋防止工を設置する事例が多い。この落橋防止工のひとつとして, 橋脚や橋台に鋼製ブラケットを取り付け, 桁座を拡幅する構造がある。一般に, 鋼製ブラケットの取り付けにはあと施工アンカーが用いられ, このアンカーは, セン断力と引張力を同時に受ける構造であるが, その耐荷機構は必ずしも明確になっていない。そこで, 本研究では, 鋼製ブラケットの取り付けに用いられる, 接着系あと施工アンカーの諸元が耐荷力におよぼす影響を把握するとともに, セン断力と引張力を同時に受けるアンカーの耐荷機構を明らかにすることを目的に載荷試験を行った。

落橋防止工に用いられるあと施工アンカーの実施工においては, アンカー間の離隔や縁端寸法が十分に確保できない場合が多く, 加えて, 既設コンクリートのひび割れの影響を受ける等様々な状況が想定される。さらに, 使用材料においても, 様々な種類の充填材やアンカーが用いられるため, その影響についても正しく把握する必要がある。そこで, 本研究では, 接着系あと施工アンカーの基本的な性能を把握するため, セン断力に対する縁端寸法の影響, 引張力に対するアンカー間の離隔, 母材コンクリートのひび割れ, および使用材料をパラメータとした載荷試験を行い, 落橋防止工に用いられるアンカーの耐荷力について検討した。

2. 試験概要

2.1 試験方法

本研究では, 接着系あと施工アンカーにおいて, 引張力を受ける場合の各種条件の影響, セン断力を受ける場合の縁端寸法の影響, セン断力と引張力を同時に受ける場合のアンカー諸元の影響に関する載荷試験を行った。アンカーの充填材については, エポキシ系を基本としており, 一部モルタル系の試験も実施した。表-1 に試験体諸元および試験結果の一覧を, 図-1 に破壊形態の分

類を示す。

まず, シリーズ1 (No.1~5) では, 引張力に対する各種条件の影響を検討した。No.1 では, 埋込長やアンカー筋の径および種別をパラメータとした。No.2 では, 充填材にモルタルアンカーを使用した。No.3 および No.4 は, ひび割れが耐荷力の低下におよぼす影響を検討する試験であり, パラメータは, アンカーの埋込長とひび割れからアンカーまでの距離とした。No.3 では, 図-2(a)に示すように, コンクリート打込み時に厚さ 1mm のプラスチック板を設置し, 人工的な模擬ひび割れを製作した。No.4 では, アルカリ骨材反応によるひび割れを有した曝露試験体に, No.3 と同一のパラメータを満足するようにアンカーを施工した。No.5 は, 群効果の影響を検討する試験であり, 図-2(b)に示すように, パラメータは, アンカーの埋込長とアンカー間距離とした。

次に, シリーズ2 (No.6) では, 図-2(c)に示すように, 載荷正方向, 載荷負方向, 載荷直角方向のアンカーから母材端部までの縁端寸法をパラメータとしたセン断載荷試験を行った。

最後に, シリーズ3 (No.7) では, 図-2(d)に示すように, アンカーの埋込長, アンカー間距離および載荷位置をパラメータとしたセン断と引張を同時に受ける場合の載荷試験を行った。

2.2 試験体概要

表-2(a)~(c)に試験に使用した充填材, コンクリートおよびアンカー筋の物性値を示す。母材コンクリートの圧縮強度は, 載荷時期に合わせて測定した。アンカー筋には, 全ネジ加工した PC 鋼棒と, 熱処理により高強度化した異形鉄筋を用い, 基本ケースは M12 とした。アンカーは下向き施工とし, ハンマドリルで穿孔後, ワイヤブラシと吸塵機で十分に清掃し, 充填材注入後にアンカー筋を挿入した。

2.3 載荷方法

図-3(a)~(c)に載荷試験装置を示す。シリーズ1~3に

*1 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 工修 (正会員)

*2 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 コンクリート構造 博士(工学) (正会員)

表-1 試験体諸元および試験結果

シリーズ	No.	パラメータ	埋込長 mm(ϕ)	※ 試験体名	試験 体数	平均 耐力 (kN)	破壊 形態	平均コーン 破壊深さ mm(ϕ)				
1	アンカー 径・種別	D25	75(3 ϕ)	1-3 ϕ -D25	1	52.6	A	75(3.0 ϕ)				
			125(5 ϕ)	1-5 ϕ -D25	1	126.9	C3	85(3.4 ϕ)				
			175(7 ϕ)	1-7 ϕ -D25	1	196.3	A	175(7.0 ϕ)				
		D19	133(7 ϕ)	1-7 ϕ -D19	3	119.6	C1	99(5.2 ϕ)				
			D13	91(7 ϕ)	1-7 ϕ -D13	3	62.6	C3	50(3.8 ϕ)			
			M24	168(7 ϕ)	1-7 ϕ -M24	3	177.9	A, C1	166(6.9 ϕ)			
		M20	140(7 ϕ)	1-7 ϕ -M20	3	125.7	A, C1	92(4.6 ϕ)				
			M12	36(3 ϕ)	1-3 ϕ -M12	3	13.5	A	36(3.0 ϕ)			
				60(5 ϕ)	1-5 ϕ -M12	3	31.3	A, C1	49(4.1 ϕ)			
		84(7 ϕ)		1-7 ϕ -M12	3	49.5	C1	63(5.2 ϕ)				
			120(10 ϕ)	1-10 ϕ -M12	3	84.5	C1	59.7(5.0 ϕ)				
			2	充填材料	モルタル	36(3 ϕ)	2-3 ϕ -M	3	13.7	A, C1	33(2.8 ϕ)	
60(5 ϕ)	2-5 ϕ -M					3	29.4	A, C2	57(4.7 ϕ)			
84(7 ϕ)	2-7 ϕ -M	2				47.5	A, C2	44(3.7 ϕ)				
120(10 ϕ)	2-10 ϕ -M	2				90.4	C1	30(2.5 ϕ)				
1	3	ひび割れ 距離 (模擬) (mm(ϕ))	12(ϕ)	60(5 ϕ)	3-5 ϕ - ϕ	3	26.1	C1, D	51(4.3 ϕ)			
			36(3 ϕ)		3-5 ϕ -3 ϕ	3	30.7	A, D	60(5.0 ϕ)			
			60(5 ϕ)		3-5 ϕ -5 ϕ	3	23.3	A, D	60(5.0 ϕ)			
			12(ϕ)	120(10 ϕ)	3-10 ϕ - ϕ	3	62.7	C1, D	83(6.9 ϕ)			
			36(3 ϕ)		3-10 ϕ -3 ϕ	3	73.7	C1, D	73(6.0 ϕ)			
			60(5 ϕ)		3-10 ϕ -5 ϕ	3	72.9	A, D	120(10.0 ϕ)			
	4	ひび割れ 距離 (実ひび われ) (mm(ϕ))	ひび割れ無	60(5 ϕ)	4-5 ϕ -無	2	36.4	A, C1	60(5.0 ϕ)			
			ひび割れ直上		4-5 ϕ -0	1	22.1	A	60(5.0 ϕ)			
			12(ϕ)		4-5 ϕ - ϕ	2	24.5	A	60(5.0 ϕ)			
			36(3 ϕ)	4-5 ϕ -3 ϕ	3	25.8	C1, D	55(4.6 ϕ)				
			60(5 ϕ)	4-5 ϕ -5 ϕ	2	28.1	A	60(5.0 ϕ)				
			ひび割れ無	120(10 ϕ)	4-10 ϕ -無	1	97.3	C1	70(5.8 ϕ)			
36(3 ϕ)	4-10 ϕ -3 ϕ	1	64.4		C1	70(5.8 ϕ)						
60(5 ϕ)	4-10 ϕ -5 ϕ	2	66.9		D	-						
5	群効果 アンカー 間距離 (mm(ϕ))	60(5 ϕ)	60(5 ϕ)	5-5 ϕ -5 ϕ	2	47.1	A	60(5.0 ϕ)				
		84(7 ϕ)		5-5 ϕ -7 ϕ	2	51.2	A	60(5.0 ϕ)				
		120(10 ϕ)		5-5 ϕ -10 ϕ	2	52.2	A	60(5.0 ϕ)				
		60(5 ϕ)	120(10 ϕ)	5-10 ϕ -5 ϕ	3	109.9	D, A	120(10.0 ϕ)				
		84(7 ϕ)		5-10 ϕ -7 ϕ	2	102.1	D	-				
		120(10 ϕ)		5-10 ϕ -10 ϕ	3	129	D, A	120(10.0 ϕ)				
2	6	せん断 縁端寸法 (mm(ϕ))	標準	60(5 ϕ)	6-5 ϕ -標準	1	67.0	E	-			
			載荷正方向		120(10 ϕ)	6-5 ϕ -A10 ϕ	2	48.5	F	-		
			標準		60(5 ϕ)	6-10 ϕ -標準	1	75.8	E	-		
			標準	120(10 ϕ)	6-10 ϕ -A10 ϕ	2	63.4	F	-			
			載荷正方向	60(5 ϕ)	6-10 ϕ -A5 ϕ	2	23.3	F	-			
			36(3 ϕ)	6-10 ϕ -A3 ϕ	2	13.0	F	-				
			載荷負方向	60(5 ϕ)	6-10 ϕ -O5 ϕ	2	67.2	E	-			
			直角方向	60(5 ϕ)	6-10 ϕ -P5 ϕ	2	37.3	F	-			
			3	7	せん断 +引張 (mm(ϕ))	標準	120(10 ϕ)	7-10 ϕ -10 ϕ -10 ϕ	2	147.1	D, E	-
						埋込長	60(5 ϕ)	7-5 ϕ -10 ϕ -10 ϕ	2	49.0	A	-
						埋込長	60(5 ϕ)+ 120(10 ϕ)	7-5+10 ϕ -10 ϕ -10 ϕ	2	129.7	D, E	-
						アンカー 間距離	180(15 ϕ)	7-10 ϕ -15 ϕ -10 ϕ	2	145.8	E	-
載荷位置	60(5 ϕ)	7-10 ϕ -10 ϕ -5 ϕ				2	147.3	E	-			
180(15 ϕ)	7-10 ϕ -10 ϕ -15 ϕ	2				105.8	A, D	-				

※1 試験体名は、a-b-cの順に表記する (a: No. b: 埋込長 c: パラメータ条件)

※2 シリーズ1は引抜耐力, シリーズ2はせん断耐力, シリーズ3は治具への荷重荷重を表す

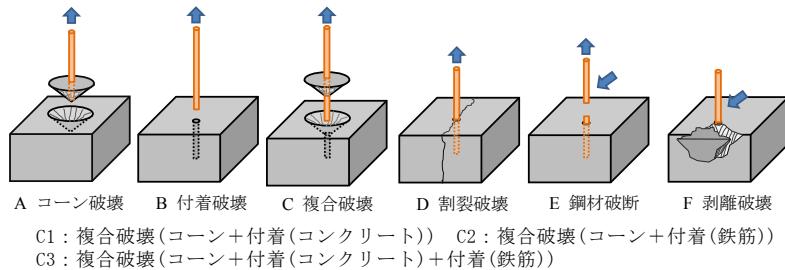


図-1 破壊形態の分類

ついて、それぞれ(a)~(c)の装置を用いて荷重試験を行った。基本的な計測項目は、荷重、変位であり、荷重はロードセルで、変位はアンカー基部または荷重治具を変位計で計測した。また、シリーズ3においては、各アンカ

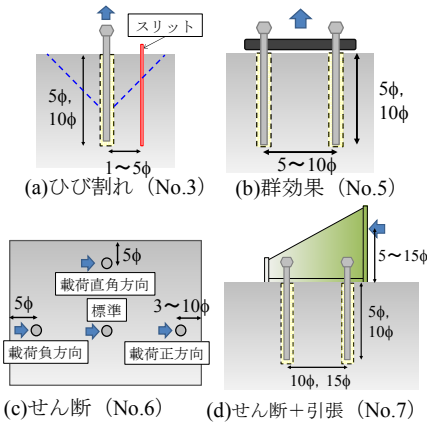


図-2 パラメータ概略図

表-2 材料の物性値

(a) 充填材			
種類	引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	
エポキシ系	75.7	109.0	
モルタル系	-	60.8	
(b) コンクリート			
	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	
No.1~3	31.7	28.6	
No.5~7	32.1	28.9	
No.4(既設)	34.4	9.4	
(c) アンカー筋			
PC鋼棒	降伏強度 (N/mm ²)	異形鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)
M12	1252	D13	1026
M20	1195	D19	1033
M24	1217	D25	1006

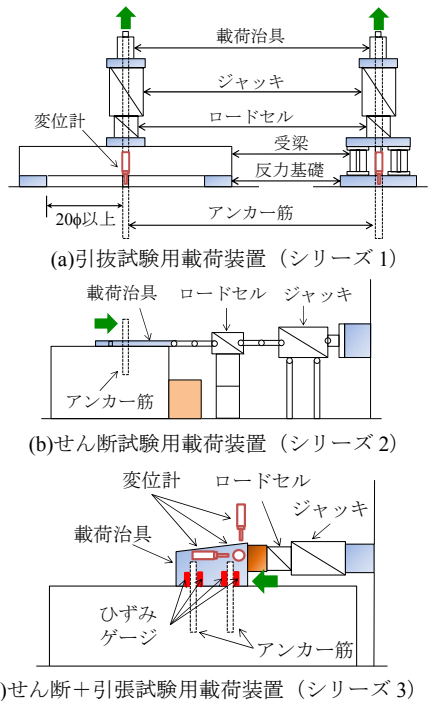


図-3 荷重試験装置

一部に貼付した一対のひずみゲージで、引張方向のひずみも計測した。

試験体の寸法については、全方向に対して20 ϕ (ϕ : アンカー径)以上の縁端寸法を確保することを基本とし、

引張試験時のアンカーから反力基礎までの距離についても、拘束の影響を受けないよう 20φ以上確保した。

3. 試験結果

3.1 引張力に対する各種条件の影響（シリーズ 1）

(1) 現行の引抜耐力算定式

鉄道構造物における、あと施工アンカーの引抜耐力算定式を式(1), (2)に示す。式(1)が有機系（樹脂系）アンカー、式(2)が無機系（モルタル系）アンカーの算定式であり、どちらも第一項がコンクリートのコーン破壊耐力、第二項が付着破壊耐力を示しており、これらを累加したものを引抜耐力としている。これらの式は、過去の実験により求められた値の95%信頼値に対し、さらに安全率3を見込んだものである^{1),2)}。

$$P = 0.53\pi \phi(D+5.5\phi)f_{cd}^{\frac{2}{3}} + 0.36\pi D(L-4\phi)f_{cd}^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

$$P = 0.44\pi \phi(D+5.5\phi)f_{cd}^{\frac{2}{3}} + 0.32\pi D(L-4\phi)f_{cd}^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

ここに、 ϕ はアンカー径(mm)、 D は削孔径(mm)、 f_{cd} はコンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 L が埋込長(mm)である。

(2) 充填材の種別が引抜耐力におよぼす影響

No.1（有機系）およびNo.2（無機系）におけるM12のアンカーについて、充填材種別ごとの埋込長と引抜耐力の関係を図-4に示す。図中に、本試験の条件に基づいて求めた式(1), (2)の計算値を示しており、ここでは、安全率を考慮していない。充填材の違いによる引抜耐力への影響は、その強度等の物性値によると想定されるが、本試験で用いた有機系充填材および無機系充填材においては、引抜耐力への影響はほとんど確認されず、また、両充填材とも、現行の算定式に対して安全側の値を示した。破壊形態については、両充填材とも、埋込長が3φ~5φと比較的短いときには、コーン破壊が卓越し、ある程度埋込長を有する7φ~10φでは複合破壊となった。また、付着破壊は、図-5に示すように、有機系充填材を用いたアンカーでは、全ての試験体で充填材とコンクリートの界面で発生したのに対し、無機系充填材においては、充填材とアンカーの界面で発生した場合も確認された。

(3) アンカー種別が引抜耐力におよぼす影響

No.1における埋込長7φの各種アンカーについて、ア

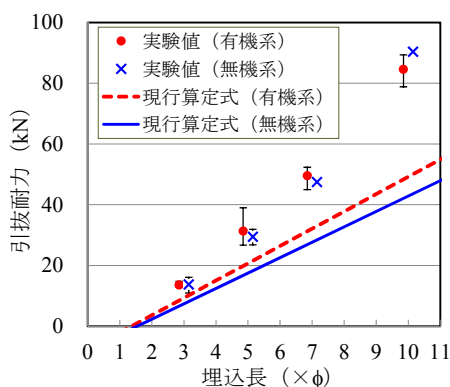


図-4 埋込長－引抜耐力関係

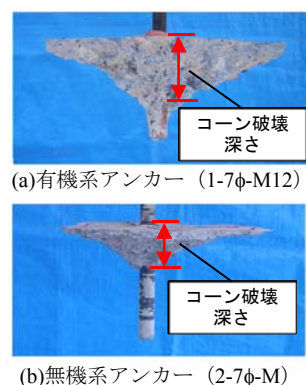


図-5 破壊状況（充填材種別）

ンカー径と引抜耐力の関係を図-6に示す。図中に、前項と同様、安全率を考慮しない式(1)の値を示す。本試験結果は、アンカー径に依存した現行の算定式を、適切に評価しており、ばらつきを考慮した全てのケースで、算定式に対して安全側であることを確認した。また、アンカーの節の種別についても、引抜耐力や破壊形態への影響がほとんど見られなかった。これは、アンカーの種別にかかわらず、充填材とコンクリートの界面において、付着破壊が発生したためだと考えられる。この試験結果から、アンカー径や節形状によらず、現行の算定式が適用可能であることを確認した。

(4) ひび割れが引抜耐力におよぼす影響

No.3について、ひび割れからアンカーの距離と引抜耐力の関係を図-7(a)に示す。比較する標準試験体は、No.1の1-5φ-M12および1-10φ-M12である。No.4についても、No.3と同様の検討を実施し（図-7(b)）、ひび割れの影響が無い4-5φ-無および4-10φ-無と比較した。No.4の試験体は、アルカリ骨材反応が発生している曝露試験体であり、No.3に比べて、圧縮強度はやや大きく、静弾性係数は小さい。載荷前に表面ひび割れ幅を測定し、また、ひび割れ深さについては、載荷前にひび割れに朱色のインクを流し込み、載荷後にコーン破壊面にて測定を行った。各試験体における表面ひび割れ幅は、埋込長5φの試験体で0.3mm~0.8mm程度、埋込長10φの試験体で0.5mm~1.8mm程度であった。ひび割れ深さについては、載荷後の破壊面の状況から、全てのひび割れがコーン破壊面に達していることを確認しており、No.3に近い条件で実ひび割れによる試験ができたと考えられる（図-8）。

No.3の模擬ひび割れによる試験体については、埋込長5φ、10φともに、標準試験体に対して、最大約25%耐荷力が低下した（図-7(a)）。一方、No.4の実ひび割れによる試験体については、ひび割れ直上に施工したアンカーで約40%、それ以外のアンカーで最大約30%耐荷力が低下した（図-7(b)）。

ひび割れの影響については、図-9に示す鉄道構造物における、有効投影面積による引抜耐力低減の考え方に

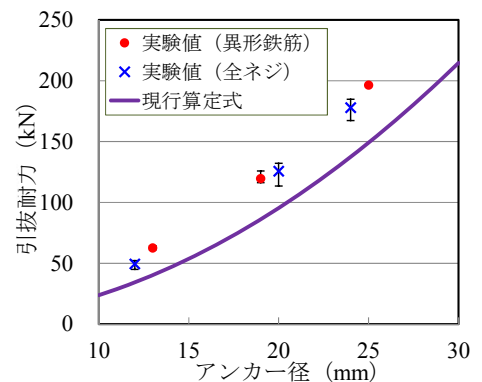


図-6 アンカー径－引抜耐力関係

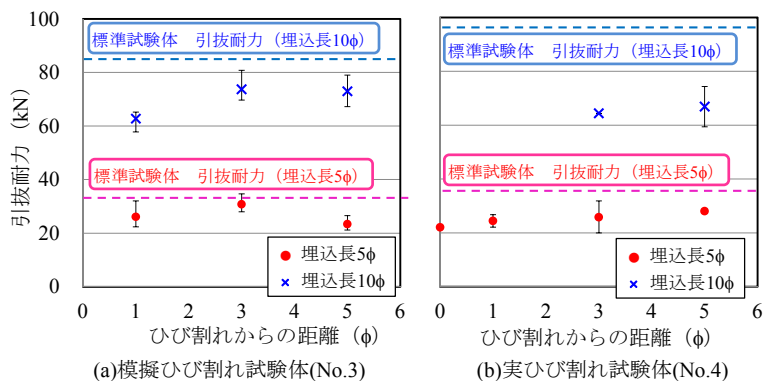


図-7 ひび割れ位置-引抜耐力関係

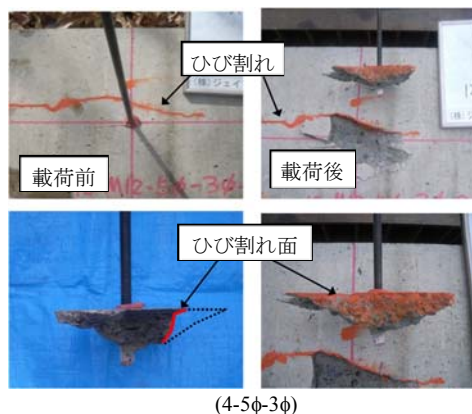


図-8 破壊状況(実ひび割れ試験体)

A_c : アンカー1本当たりの有効投影面積
 A_{c1} : ひび割れにより低減される面積

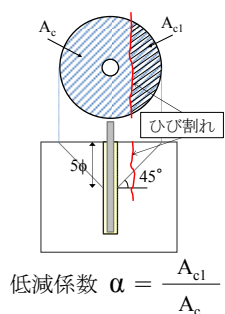


図-9 有効投影面積(ひび割れ)

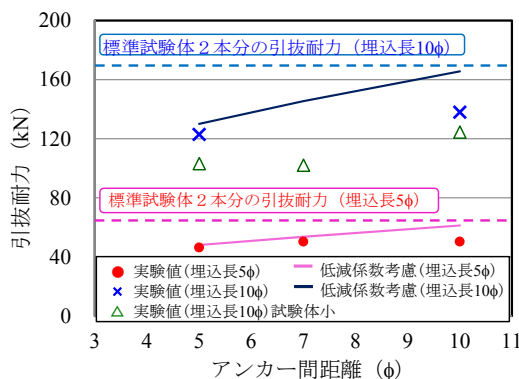


図-10 アンカー間隔-引抜耐力関係

A_c : アンカー1本当たりの有効投影面積
 A_{c1} : 群効果の影響により低減される面積

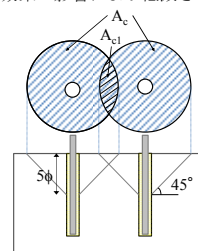


図-11 有効投影面積(群効果)

よると、ひび割れからの距離が小さいほど影響が大きく、5φ以上離れると影響は少ないと考えられるが、両試験体において、離れ5φ時においても引抜耐力の低下が確認されたことから、十分な引抜耐力を確保するためには、ひび割れ面に対して5φよりも大きな離隔が必要であると考えられる。これは、実際のコーン破壊寸法が埋込長5φの位置から45°の破壊面を想定した有効投影面積よりも大きいことや、既往の実験³⁾において確認された、引張力に対する必要な縁端寸法が、5φよりも大きいことと整合する結果となった。また、本試験で模擬した、プラスチック板による人工的なひび割れについては、コンクリートとプラスチック板の摩擦抵抗が、実際のひび割れ面におけるせん断伝達抵抗と異なること、また、実際のひび割れについても、アルカリ骨材反応に起因するひび割れと、例えば、曲げひび割れでは、引抜力に対する影響が異なる可能性があるため、ひび割れの影響については、さらなる検討が必要と考えられる。

(5) 群効果が引抜耐力に与える影響

No.5について、アンカー間距離と引抜耐力の関係を図-10に示す。比較する標準試験体は、No.1の1-5φ-M12および1-10φ-M12であり、図中にこれらの引抜耐力を2倍した値と、図-11に示す有効投影面積の重なりを考慮して低減した算定値を示す。前項のひび割れ試験と同様に、本試験体においても、現行の設計で群効果の影響を受けないとされるアンカー間距離10φにおいても、耐荷

力が低下する結果となった。

また、埋込長5φについては、アンカー間距離10φを除いて、低減係数 α を考慮した値とほぼ一致する結果となったが、埋込長10φの場合は、大きく下回る結果となった。これは、図-12に示すように、破壊面がコンクリート側面に達し、コンクリート端部の破壊を伴う破壊形態となったことが原因と推定された。本試験体については、20φの縁端寸法を確保しており、単体のアンカーにおいてこのような破壊形態となることはなかったが、本ケースの埋込長10φの場合は、全て同様の破壊形態となった。これらの結果を踏まえて、さらに寸法の大きな試験体で、アンカー間距離5φおよび10φの試験を再度行った結果、耐荷力の増加が確認された。以上のことから、アンカー間の離隔が小さい場合は、単体のアンカーよりも必要な縁端寸法が大きくなると考えられる。

3.2 せん断力に対する縁端寸法の影響(シリーズ2)

No.6について、図-13に縁端寸法とせん断耐力の関係および縁端寸法を十分に確保した標準試験体である、6-5φ-標準と6-10φ-標準のせん断耐力を示す。また、図-14に標準試験体の荷重-変位関係を示す。破壊形態については、縁端寸法が十分に確保されている場合は、30kN付近でコンクリートの圧壊が始まり、その後、ズレ変形を伴いながら荷重が増加し、最終的には鋼材破断となった(図-15(a))。各機関における手引き・指針等⁴⁾⁵⁾では、接着系アンカーのせん断耐力は、アンカー筋のせん断降

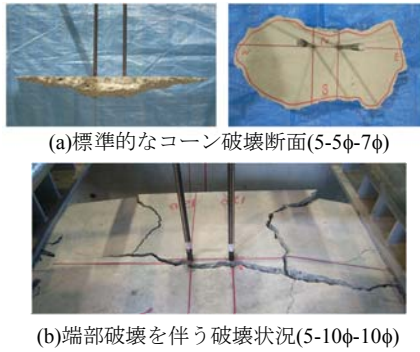


図-12 破壊状況（群効果）

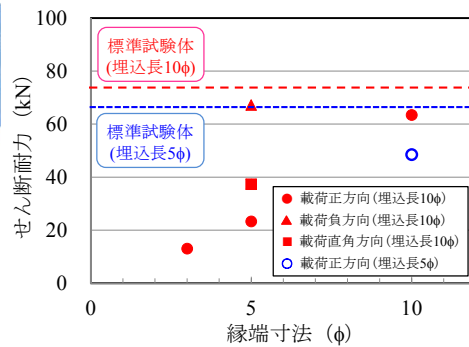


図-13 縁端寸法—せん断耐力関係

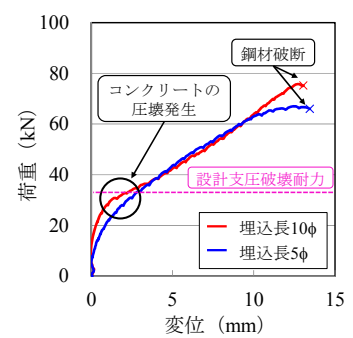


図-14 荷重—変位関係

伏耐力または母材コンクリートの支圧破壊耐力によって決定するとされている。支圧破壊耐力は式(3)で表され、安全係数を考慮しない場合の本試験体における算定値は、約 33kN であり、本試験結果と一致した。

$$V = 0.4a_s \sqrt{E_c f_{cd}} / \gamma_b \quad (3)$$

ここに、 a_s はアンカー最小径(mm)、 E_c はコンクリートのヤング係数(N/mm²)、 f_{cd} はコンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)、 γ_b が部材係数で、ここでは 1.0 とした。

また、既往の研究⁶⁾では、降伏変形後の引抜抵抗により、せん断耐力は埋込長が長い程増加するという結果が報告されているが、本試験においても、埋込長 5φ に対して埋込長 10φ のせん断耐力が大きくなった。なお、本試験に用いたアンカー筋のせん断降伏強度は約 61kN であり、引張降伏強度は約 106kN である。このことから、埋込長 5φ の場合の最大耐力は、アンカー筋のせん断強度により決定したが、埋込長 10φ の場合は、降伏変形後も引張力に対して埋込部の付着で抵抗することから、最大耐力が、せん断と引張の組合せによる強度で決定したものと想定される。一方、縁端寸法が小さい場合は、図-15(b)のように、せん断力により側面のコンクリートが剥離する破壊形態となった。ここでは、これを剥離破壊と呼ぶ。

埋込長 10φ の場合において、図-2(c)に示すように、載荷正方向、載荷負方向、載荷直角方向の縁端寸法をパラメータとした載荷試験を実施した。試験の結果、載荷正方向の寸法がせん断耐力の低下に最も影響をおよぼし、縁端寸法が 5φ の場合において、縁端寸法を十分に確保した試験体に比べ、約 30% まで耐力が低下した。

3.3 せん断力と引張力を同時に受ける場合のアンカー諸元の影響（シリーズ 3）

(1) 落橋防止工の設計の考え方

鋼製ブラケットを用いた落橋防止工の設計は、図-16に示すように、せん断力に対しては上下両方のアンカーで抵抗し、曲げモーメントに対しては、下側のアンカーを支点として、上側のアンカーのみで抵抗する考え方となっている⁷⁾。本研究では、水平方向に配置されたアンカーに作用する荷重のばらつきの影響を排除するため、上下 1 組のアンカーを対象とした要素試験を行い、落橋

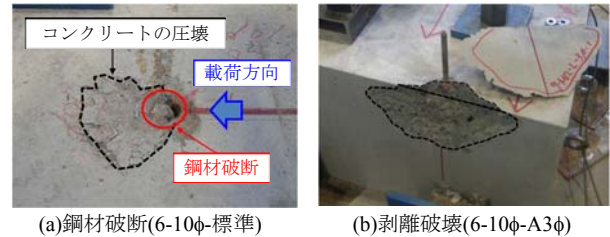


図-15 破壊状況（せん断）

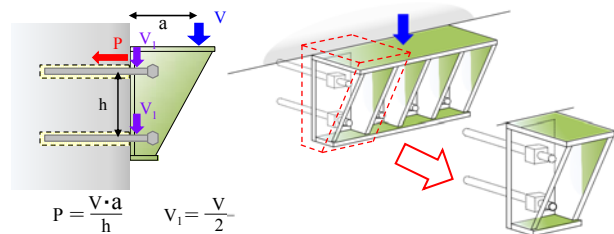


図-16 落橋防止工（鋼製ブラケット）の試験体模式図

防止工の耐荷機構について検討した。

(2) 埋込長が耐力に与える影響

図-17(a)に、アンカーの埋込長をパラメータとした、荷重と引張力の関係を示す。全試験体とも、載荷初期は上側アンカーの引張力の増加が大きいことから、上側アンカーで引張力に抵抗していることがわかる。埋込長 5φ の (B) については、載荷荷重 50kN 付近で、上側アンカーを起点とするコーン破壊により、荷重が低下した（図-18(a)）。破壊時の上側アンカーの引張力は約 29kN であり、アンカー径、埋込長が同条件の引張力を受けた場合の試験結果（1-5φ-M12）と概ね一致し、本試験においては、コーン破壊耐力にせん断力の影響は小さいと想定される。また、上側アンカーの埋込長が 10φ の (A) および (C) については、80kN 付近でコンクリートの圧壊が発生し、その後、下側アンカーにおいては、荷重の増分に対し、引張力の増大が大きくなったことから、下側アンカーも引張力に抵抗していると考えられる。最終的には、上下どちらかのアンカーが破断するか、またはコンクリートの割裂破壊により荷重が低下した（図-18(b)）。

本試験では、高強度鉄筋を用いたが、一般的な設計では SD490 が上限となり、載荷荷重 50~60kN 付近でせん断降伏または引張降伏に達すると想定される。この荷重

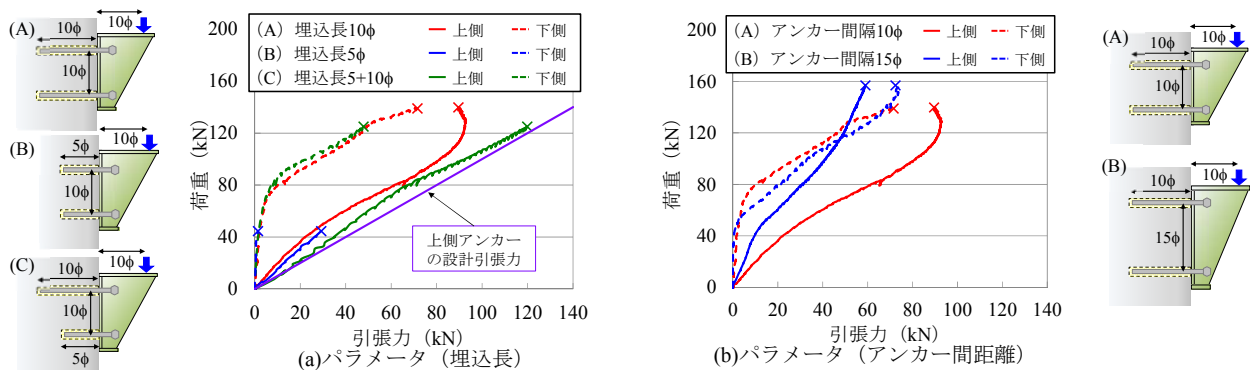


図-17 荷重-引張力関係

レベルにおいては、下側アンカーにほとんど引張力は作用しておらず、概ね現行の設計の考え方と一致していると考えられる。また、曲げモーメントに対する支点を下側アンカーの位置（載荷位置 a とアンカー間距離 h が等しい）と仮定すると、載荷荷重と上側のアンカーの引張力が同一となるが、本試験においては、載荷荷重に対して上側アンカーの引張力が小さくなり、支点位置は、設計よりも下側にあると想定される。これらの結果と、前節のせん断力に関する試験結果より、設計上せん断力のみ抵抗する下側アンカーについては、現行 15ϕ を基本とする埋込長を、低減できる可能性があると考えられる。ただし、アンカーに作用する荷重のばらつき、縁端寸法、群効果等の影響については、十分に検討する必要がある。

(3) アンカー間距離と耐荷力の関係

図-17(b)に、上下のアンカー間の距離をパラメータとした、荷重と引張力の関係を示す。アンカー間距離を 15ϕ と広げた場合に、同一荷重時における上側のアンカーの引張力の値が小さくなっていることから、最大荷重が上側のアンカーの引抜耐力で決定する場合においては、設計の合理化が図れることが考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲において、得られた知見を以下に示す。

- (1) 十分な縁端寸法やアンカー間の離隔を確保した場合、現行の引抜耐力算定式は、アンカー筋や充填材の種類、およびアンカー径の影響を適切に評価していることを確認した。
- (2) ひび割れを有するコンクリートにおいては、引抜耐力が最大で4割程度低下した。また、ひび割れの影響範囲は、埋込長 5ϕ の位置から 45° の破壊面を想定した有効投影面積より広いと考えられる。
- (3) 群効果の影響について、有効投影面積の重なりにより耐力を低減する現行の設計の考え方は、引抜耐力を過大に評価する可能性がある。また、群アンカーの場合は、単体のアンカーと比較して、必要な縁端寸法が増加する可能性があることがわかった。
- (4) せん断力を受けるアンカーについて、破壊に至るア

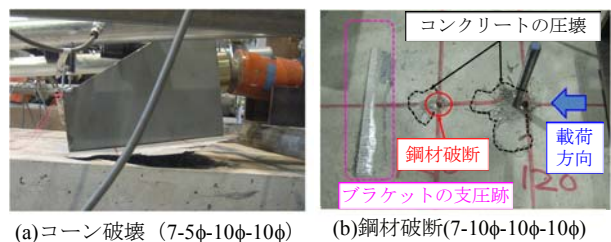


図-18 破壊状況（せん断+引張）

ンカーの挙動、および耐荷力におよぼす縁端寸法の影響を確認した。

- (5) せん断力と引張力を同時に受ける、落橋防止工に用いられるあと施工アンカーについて、アンカーの埋込長により破壊形態が異なることを示すとともに、曲げモーメントに対しては、主に上側のアンカーで抵抗する、現行の設計の考え方が妥当であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 例えば、村松和仁，宗 栄一：エポキシ樹脂アンカーの引張り強さに関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.6, pp.389-392, 1984.5
- 2) 公益財団法人 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，1987
- 3) 笠裕一郎，田所敏弥，岡本大，古屋卓稔：耐荷機構に基づくあと施工アンカーの引抜耐力に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.37, No.2, pp.505-510, 2015.7
- 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的设计・施工指針（案），2014
- 5) 一般社団法人 日本建築あと施工アンカー協会：あと施工アンカー設計指針（案）・同解説，2005
- 6) 森北一光，皆川聡一，石崎茂，福富眞：アンカーボルトの埋込長とせん断耐荷力の関係について，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.2, pp.1489-1494, 2009.7
- 7) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所：支承部の耐震補強設計の手引き，1996