# 論文 耐荷機構に基づくあと施エアンカーの引抜耐力に関する一考察

笠 裕一郎\*1·田所 敏弥\*2·岡本 大\*2·古屋 卓稔\*1

要旨:接着系あと施工アンカーについて,引抜耐力に関する各種条件,施工のばらつき,引抜試験方法等が, 引抜耐力や破壊形態に及ぼす影響を静的引抜試験により確認し,耐荷機構の検討および現行の耐力算定式と の比較を行った。その結果,アンカーの耐荷機構はコーン破壊耐力と付着破壊耐力の累加と考えられ,その 遷移領域は3♦~6◆程度であることがわかった。また,現行の算定式は,安全側に設定されていることを確認 したが,縁端寸法の影響や施工のばらつきにより,耐力が大きく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,引抜耐力,耐荷機構,コーン破壊,付着破壊

#### 1. はじめに

あと施工アンカーは,既設構造物の補修・補強や付属 物の取り付け等幅広い分野において様々な目的で使用さ れており,アンカーや接着材の種類も多種多様である。

一方,あと施工アンカーの引抜耐力については,様々 な実験,研究が行われているものの<sup>1)</sup>,破壊形態や耐荷 機構に基づく耐力評価に関する研究事例は少ない。加え て,各機関において手引きや指針等<sup>2),3),4)</sup>が刊行されてお り,その耐力評価法や考え方は必ずしも統一されている ものではない。例えば,鉄道構造物では,アンカーの引 抜耐力をコーン破壊耐力と付着破壊耐力を累加した式で 算定しているのに対し,他の指針では,両者を個々に算 定し,その小さい方を設計引抜耐力としている。

以上のことを踏まえ,本研究では,実務において使用 頻度が高い樹脂アンカーを基本として,アンカーの定着 長,母材コンクリート強度,削孔径等の各種条件,施工 のばらつきおよび引抜試験方法が,引抜耐力や破壊形態 に及ぼす影響を確認した。また,現行の耐力算定式との 比較を行うとともに,その耐荷機構の検討を行った。

### 2. 試験概要

#### 2.1 試験体

試験に使用した充填材およびコンクリートの物性値を 表-1 に示す。本試験では、注入方式のエポキシ系樹脂 アンカーを基本としており、一部ウレタン系、モルタル 系充填材を用いた試験を実施した。コンクリートは、目 標強度 27N/mm<sup>2</sup>を基本とし、20N/mm<sup>2</sup>、35 N/mm<sup>2</sup>につ いても試験を実施した。また、試験数量は、基本的な試 験は N=3 とし、それ以外は、N=2 もしくは N=1 とした。 なお、コンクリートの物性値については、アンカー施工 日と引抜試験実施日に試験を行い、その平均値を記して いる。

アンカー筋には、全ての試験体で熱処理により高強度

化した D25 (f<sub>sy</sub>=978N/mm<sup>2</sup>)の竹ふし鉄筋を用いた。ア ンカーの施工方法については,直径 32mm のハンマドリ ルで穿孔を行い,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。

# 2.2 載荷方法

図-1 に載荷試験装置を示す。アンカーは下向き施工 とし、母材コンクリート表面に対して垂直に施工した。 載荷については、センターホールジャッキにより加力を 行い、ねじ加工したアンカー頂部に取り付けた治具を介 して、静的に引抜試験を行った。また、試験体の寸法は、 900mm×900mm×500mm であり、アンカーから反力基礎 までの距離は、拘束の影響を受けないよう 500mm (20¢) 以上確保した。

計測項目は,荷重,変位であり,荷重はロードセルで, 変位はアンカー頂部に設置した変位計で計測を行い,最

充填材				コンクリート					
種類	引張強度	圧縮強度		目標強度	圧縮強度	静弹性係数			
	$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$		$(N/mm^2)$	$(N/mm^2)$	$(kN/mm^2)$			
エポキシ系	75.7	109.0		27	28.5	28.2			
ウレタン系	52.6	141.0		20	20.8	24.4			
モルタル系	-	60.8		35	34.7	30.6			



\*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(工)(正会員)

表-1 材料の物性値

大荷重時の変位計の読みから,最大荷重より計算した鉄 筋の伸び量を差し引いた値を抜け出し量とした。また, 破壊形態を確認するため、抜け出したアンカーおよび母 材コンクリートの形状を記録した。

#### 2.3 試験パラメータ

表-2 にパラメーター覧を,図-2 にケース No.3, 6, 7の概略図を示す。

定着長および母材コンクリート強度については、ケー ス No.1 において, 目標強度 27N/mm<sup>2</sup>で定着長 3¢, 5¢, 76, 106, ケース No.2 において目標強度 20N/mm<sup>2</sup>, 35N/mm<sup>2</sup>で定着長 36, 56, 76を実施した。また, ケース No.3 は図-2(a)に示すように削孔長を 10¢とし、その先 端のみを定着した試験体である。ケース No.4 の削孔径に ついては,基本削孔径 d=32mm に対し, d=40mm の場合 について実施した。ケース No.5 の縁端寸法については, 定着長 56, 76のアンカーについて, 母材コンクリートの 端部から150mm (6), 300mm (12), 450mm (18) 離 した位置にアンカーを施工した。

施工のばらつきに関する各種条件として、ケース No.6 では図-2(b)に示すように「アンカー傾斜」,「芯ずれ」, 「注入不良」、「清掃不良」について試験を実施した。「ア ンカー傾斜」については,穿孔時に既設鉄筋等に支障し, アンカーを斜めに施工した場合を想定しており、母材の 垂直面に対し 30°傾斜させてアンカーを施工し,充填材 硬化後アンカーを曲げ戻して垂直方向に引抜試験を行っ た。「芯ずれ」については、正規に穿孔はしたものの、充 填材硬化前にアンカー鉄筋が削孔穴の中心からずれてし まった場合を想定しており,穿孔後,削孔壁面に沿わせ るようにアンカーを設置した。「注入不良」については、 横向き施工時における充填材の注入不良を想定しており, アンカー周面の半分を非定着区間とした。「清掃不良」に ついては、穿孔後の清掃を一切行わず、穿孔時に発生し た粉体を残したままアンカーを設置した。

あと施工アンカーの実施工においては、施工後、引抜 試験を実施する。しかし、様々な制約により、アンカー と反力点までの距離を十分に確保することが困難な場合 がある。そこで、反力点距離に着目した試験を行った。 ケース No.7 では, 図-2(c)に示す厚さ 30mm の鋼板を 用いて、反力距離を36、6と狭めて試験を行った。

ケース No.8 では, 充填材の種類が耐荷機構や破壊形態 に及ぼす影響を確認するため、ウレタン系とモルタル系 の充填材について、それぞれ1種類ずつ試験を行った。

## 3. 試験結果

表-3 に試験結果一覧を示す。破壊形態については, 図-3 に示す A~Eの5パターンに分類し、さらに付着 破壊については、樹脂ーコンクリート界面の付着破壊と

表-2 パラメーター覧

ケース No	,	試験体名						
		3	ф	1-36-27				
1	定着長 (基本)	5	ф	1-56-27				
1		7	ф	1-76-27				
		10	ф	1-100-27				
	コンクリー ト強度	日標確度	3φ	2-36-20				
		$20 \text{N}/\text{mm}^2$	5φ	2-56-20				
2		2019/11111	7φ	2-76-20				
2		日桓強度	3φ	2-36-35				
		$25 N/mm^2$	5φ	2-56-35				
		331N/11111	7φ	2-7\$-35				
	定着長 (付着力)	割 口 汉	2φ	3-2¢-27-d32				
		月1月1日主	3φ	3-3¢-27-d32				
3		u-32	4φ	3-4 <del>0</del> -27-d32				
		削孔径	3φ	3-3¢-27-d40				
		d=40	4φ	3-4 <b>\p</b> -27-d40				
4	削孔径	d=	40	4-5 <del>6</del> -27				
	縁端寸法		6¢(150)	5-5 <del>0</del> -27-L 60				
		定着長5∳	12(300)	5-5 <del>6</del> -27-L126				
5			18¢(450)	5-5¢-27-L18¢				
5			6¢(150)	5-7 <del>0</del> -27-L 60				
		定着長7∳	12(300)	5-7¢-27-L12¢				
			18¢(450)	5-7 <del>6</del> -27-L186				
	按于中能	アンカ	一傾斜	6-7¢-27-30°				
6		芯す	⁼れ	6-7ф-27-D				
0	旭工扒您	注入	不良	6-7¢-27-I				
		清掃	不良	6-7ф-27-С				
7	封除专进	反力点	距離3φ	7-5ф-27-3ф				
/	<b></b>	反力点	距離φ	7-5ф-27-ф				
0	(汁 ス おおお)	ウレタ	<ul><li>レ系</li></ul>	8-7 <b>∲</b> -27-U				
0	住八竹科	モルタ	ル系	8-7ф-27-М				
注) 試験休夕け $a_b_c_d$ の順に表記する								

a : ケースNo b : 定着長

c : コンクリート強度

d : パラメータ条件



樹脂-鉄筋界面の付着破壊の2パターンに分類した。

コーン破壊寸法に関しては、図-4 に示すように、母 材表面の最大径とコーン破壊深さを計測した。

# 3.1 引抜耐力に関する各種条件の影響

#### (1) 定着長

表-3 に示すケース No.1 およびケース No.2 の結果よ

り、定着長に応じて最大荷重が増加する傾向が明らかで あり、定着長が引抜耐力に与える影響は非常に大きいこ とがわかった。

破壊形態については、定着長 3¢, 5¢ではコーン破壊ま たは付着破壊部が少ない複合破壊であり、定着長 7¢では 全て複合破壊であった。また、ケース No.1 の定着長 5¢, 7¢におけるコーン破壊深さについては、最小が 80mm (3.2¢),最大が155mm(6.2¢)とばらつきが大きいが, 最大荷重のばらつきはあまり見られなかった。以上のこ とより,複合破壊におけるコーン破壊と付着破壊の遷移 領域はコンクリート表面から3¢~6¢程度とばらつきが 大きく,定着長が同一の場合は、コーン破壊深さと耐力 に相関は無いことが確認できた。

L 7				破壊 形態	最大荷重(kN)		抜け出し量(mm)		コーン破壊				
グース No	パラメータ								試験体名	最大径(mm)		深さ <u>(mm)</u>	
NO					平均		平均			平均		平均	
		3ф		1-30-27-1	А	62.0	62.3	0.5	0.4	710		75(3.0)	$\frac{1}{100}$ 72(2.9 $\phi$ )
				1-30-27-2	А	62.4		0.3		530	530.0	75(3.0¢)	
				1-30-27-3	C2	62.6		0.3		350		65(2.6¢)	
				1-50-27-1	Α	123.8		0.5		965		$125(5.0\phi)$	
		5ф		1-50-27-2	C3	128.9	123.9	0.8	0.7	350	678.3	80(3.2¢)	108(4.3¢)
1				1-50-27-3	C2	119.0		0.8		720		$120(4.8\phi)$	
	(基本)	7ф		1-70-27-1	C2	157.4	193.9	0.9	1.2	1000		$124(5.0\phi)$	
				1-70-27-2	C2	213.7		1.1		300	610.0	155(6.2¢)	124(5.0¢)
				1-70-27-3	C2	210.5		1.5		530		95(3.8¢)	
		104		1-100-27-1	Е	291.3	204.0	2.3		_		_	
			JΨ	1-100-27-2	Е	316.7	304.0		_	-	_	-	_
		日搏強度	36	2-30-20	C1	46.3	_	0.4	_	430	_	$51(2.0\phi)$	_
			5φ	2-50-20	C1	108.1	_	0.9	_	800	_	115(4.6)	_
2	コンクリート 強度	20N/mm <sup>-</sup>	7φ	2-70-20	C1	157.6		1.0		1080		$160(6.4\phi)$	
2		日搏強度	36	2-30-35	А	70.3	_	0.5	_	975	_	75(3.0)	_
		口(示)五/文	5¢	2-50-35	C2	125.2	_	0.9	_	1060	_	$120(4.8\phi)$	_
		35N/mm <sup>-</sup>	7φ	2-70-35	C2	198.0		0.9		850		152(6.1)	
		削孔径 d=32	24	3-2¢-27-d32-1	B2	253.1	220.2	3.4	2.0	_		_	
			2φ	3-2¢-27-d32-2	B2	205.2	229.2	2.5	2.9	_	_	-	_
			21	3-3¢-27-d32-1	Е	290.7	200.7	3.7	2.6	_		-	
3	正看長		3φ	3-3¢-27-d32-2	E	290.7	290.7	3.5	3.6	_	_	_	_
	(付看刀)		4φ	3-46-27-d32	Е	291.7	_	2.4	_	_	_	_	_
		削孔径	30	3-3¢-27-d40	B2	184.2	_	2.2	_	_	_	_	_
		d=40	4¢	3-4¢-27-d40	Е	291.5	_	2.0	_	_	_	-	_
	*비기 사고	d=40		4-5¢-27-1	C2	141.4	137.1	0.6	0.6	500	(25.0	$105(4.2\phi)$	110(4.41)
4	則扎住			4-5¢-27-2	C2*	132.7		0.6		770	635.0	$115(4.6\phi)$	110(4.40)
			6(150)	5-5¢-27-L 6¢	A*	116.4	_	0.4	_	520	_	125(5.0¢)	_
		定着長 5¢	12¢(300)	5-5¢-27-L12¢	A*	127.9	_	0.6	_	880	_	$125(5.0\phi)$	_
-			18¢(450)	5-5¢-27-L18¢	A	131.7	_	0.6	_	660	_	125(5.0¢)	_
5	縁端寸法		60(150)	5-70-27-L 60	∆*	150.9	_	0.8	_	750	_	$175(7.0\phi)$	
		定着長	12¢(300)	5-70-27-L120	A*	195.1	_	0.9	_	830	_	175(7.0¢)	_
		/φ	186(450)	5-70-27-L180	C2	212.5	-	1.5	_	320	_	$105(4.2\phi)$	
		71.4		6-7φ-27-30°-1	D	169.3	170.0	2.2		_			
		アンカー傾斜       芯ずれ       注入不良       清掃不良		6-7φ-27-30°-2	D	188.7	179.0	2.1	2.1	_	_	_	_
				6-7φ-27-D-1	C3	225.4		1.0		750		145(5.86)	
,				6-7φ-27-D-2	D	221.7	223.6	1.2	1.1	_	_		_
6	施工状態			6-7φ-27-I-1	C2	158.6		3.2	,	410		95(3.8d)	
				6-7φ-27-I-2	C2	157.4	158.0	4.0	3.6	330	370.0	45(1.8¢)	70(2.8¢)
				6-7φ-27-C-1	C1	124.0		1.0		420		$140(5.6\phi)$	
				6-7φ-27-C-2	C3	149.5	136.8	0.7	0.8	250	335.0	75(3.0¢)	108(4.3¢)
		反力点距離3 <b></b>		7-5d-27-3d-1	C3	199.4	100.5	1.4		140	4 4 6 7	65(2.6h)	
-	35 mA 1.51			7-5φ-27-3φ-2	C3	165.0	182.2	1.2	1.3	140	140.0	65(2.6¢)	65(2.6¢)
7	試験方法	<b>反</b> 力点距離φ		7-5φ-27-φ-1	C2	170 1	181.4	1.2	2.8	-			
				7_5d_27_d_2	C2	192.7		4.1		_	_	_	-
		ウレタン系		8-76-27-U-1	C3	202.2	203.1	17		520		65(2.64)	
	N - 1122			8-76-27-U-2	C3	202.2		2.1	1.9	600	560.0	75(3.04)	68(2.7¢)
8	汪入材料			8-7φ-27-M-1	C2	160.6		0.9		450		70(2.8h)	10/1 0.11
		モルク	タル糸	8-76-27-M-2	C2	170.1	165.3	1.0	0.9	240	345.0	$25(1.0\phi)$	48(1.9¢)

表-3 試験結果一覧

注) ※はコーン破壊が母材側面に達し、端部破壊を伴う破壊形態



A :コーン破壊
B1 :付着破壊(樹脂とコンクリート界面の付着破壊)
B2 :付着破壊(樹脂と鉄筋界面の付着破壊)
C1 :複合破壊(コーン+付着(コンクリート))
C2 :複合破壊(コーン+付着(鉄筋))
C3 :複合破壊(コーン+付着(コンクリート)+付着(鉄筋))
D :割裂破壊
E :鋼材破断

図-3 破壊形態の分類

## (2) 母材コンクリート強度

図-5 にケース No.1 およびケース No.2 における,母 材コンクリート強度と最大荷重の関係を示す。コンクリ ート強度の大きさに応じて緩やかな耐力の増加が確認で きる。定着長 3々については、コーン破壊が支配的である ため、コーン破壊耐力がコンクリート強度の影響を受け ていることが分かる。また、定着長 5々、7々については、 20N/mm<sup>2</sup>から 27N/mm<sup>2</sup>にかけて耐力が増加しているが、 35N/mm<sup>2</sup> にかけては耐力の増加がほとんど見られない。 これは、本ケースにおける付着破壊が、20N/mm<sup>2</sup>時には 樹脂とコンクリートの界面で発生しているのに対し、 27N/mm<sup>2</sup>以上では、樹脂と鉄筋の界面で発生しているこ とが原因と考えられる。

#### (3) 削孔径

表-3 に示すケース No.1 の定着長 5々とケース No.4 を 比較すると,削孔径が大きいケース No.4 の耐力が基本ケ ースを約1割上回っている。一方,試験ケース No.3 の定 着長 3々および 4々については,3-3々-27-d40 の試験体のみ が付着破壊で残りは鋼材破断であり,定着長 3々における 削孔径 d=32mm と d=40mm の耐力は,削孔径 d=32mm の 方が大きくなった。これは,充填材の弾性係数が小さい ため,充填材体積が大きい d=40mm については,同一荷 重下における充填材の変形量が大きくなり,充填材と鉄 筋の界面に付着切れが生じたことが原因であると推定さ れる。 以上のことから,削孔径を大きくすることで,引 抜耐力が低下する可能性があることが確認された。

#### (4) 縁端寸法

図-6に縁端寸法と最大荷重の関係を示す。定着長 5¢, 7¢とも、母材端部からの距離を 450mm (18¢) 確保する と、縁端寸法の影響を受けずに、基本ケースの No.1 と同 等の耐力および破壊形態を示した。縁端寸法 300mm (12¢) 以下とした場合は、図-7 に示すようにコーン破 壊が供試体側面に達し、端部破壊を伴う破壊形態となっ た。これに伴い、定着長 5¢については、縁端寸法 150mm (6¢) 時に約1割耐力が低下した。また、定着長 7¢につ いては縁端寸法 300mm (12¢) 時に約1割、縁端寸法 150mm (6¢) 時に約3割耐力が低下した。

各種手引き・指針においては、緑端寸法が 5¢または有 効定着長より小さい場合に、有効水平投影面積に応じて 引抜耐力を低減することとしているが、本研究結果より、 緑端寸法と定着長に応じてさらに耐力を低減する必要が あることがわかった。

# 3.2 引抜耐力に関する施工のばらつきの影響

ケース No.6 は, 施工のばらつきに関する各種条件の試験であり, 比較対象とする基本ケースはケース No.1 の定 着長 7¢(最大荷重 193.9kN)である。



図-4 コーン破壊寸法の計測









(a) 5-5φ-27-L6φ
 (b) 5-7φ-27-L12φ
 図-7 端部破壊を伴う破壊状況





(a) 6-7ф-27-C-2:清掃不良 (b) 7-5ф-27-3ф-1:試験方法 図-8 各条件における破壊形態詳細図

## (1) アンカー傾斜

表-3 に示すように最大荷重の平均は基本ケースの約 9割であり,破壊形態は両試験体とも割裂破壊であった。 傾斜したアンカーが上部のコンクリートを持ち上げるよ うな形で曲げ破壊に至ったと推定される。

#### (2) 芯ずれ

**表-3** に示すように最大荷重の平均が基本ケースを上回り、芯ずれによる耐力の低下は見られなかった。アン カーが削孔穴の中心からずれていても、充填材が鉄筋周 面に行きわたっていれば、耐力低下は発生しないと考え られる。

# (3) 注入不良

表-3 に示すように最大荷重の平均は基本ケースの約 8割であり,基本ケースに比べてコーン破壊深さが浅く, 抜け出し量が大きくなった。

上向き施工の注入不良については、充填材の注入不足 量が定着長不足に直結するので、ケース No.1 の結果から、 耐力低下が大きくなると想定される。一方、ケース No.1 の定着長 7¢よりもケース No.3 の定着長 2¢の耐力が大き いことなどから、深い領域に樹脂が注入されることによ って、コーン破壊や表面近傍の付着劣化が避けられるた め、十分な引抜耐力を発揮すると考えられる。よって、 下向き施工の注入不良については、アンカー先端部にあ る程度の定着長が確保されていれば、耐力の低下は限定 的であると想定される。

## (4) 清掃不良

表-3 に示すように最大荷重の平均は基本ケースの約7割で、両試験体のばらつきも大きくなった。破壊形態については、図-8(a)に示すようにコーン破壊と樹脂とコンクリート界面の付着破壊の複合破壊となっていることからも、穿孔時の粉体が付着耐力低下に大きく影響すると考えられる。

# 3.3 引抜き耐力に関する試験方法の影響

ケース No.7 は、反力点距離を 3, , , やと狭めた試験であ り、比較対象とする基本ケースは、ケース No.1 の定着長 5, (最大荷重 123.9kN) である。最大荷重の平均は、表 -3 に示すように反力点距離 3, かとも基本ケースの約 1.5 倍であった。破壊形態は図-8(b)に示すとおり反力板 の径に沿ったコーン破壊形状を示し、コーン破壊深さも 基本ケースと比較して浅くなった。このことから、コー ン破壊面内に反力を取ることにより拘束効果が働き、付 着強度が大きくなったと考えられる。以上の結果より、 反力点距離が短い簡易な試験器等を用いる場合は、反力 点距離に応じて試験値を低減する必要があると考えられ る。

#### 3.4 引抜き耐力に関する充填材種類の影響

ケース No.8 は, 充填材の種類を変更させた試験であり,



図-9 現行算定式と実験値の比較

比較対象とする基本ケースはケース No.1 の定着長 7¢(最 大荷重 193.9kN) である。

表-3 に示すようにウレタン系については,最大荷重 がエポキシ系と同程度であったが,コーン破壊深さが浅 かった。また,材料強度が小さいモルタル系については, 最大荷重がエポキシ系の約8割で,ウレタン系同様にコ ーン破壊深さが浅かった。以上の結果から,充填材の種 類によって,耐力や破壊形態に差が出ることが確認され た。

## 4. 現行の算定式との比較および耐荷機構の検討

## 4.1 現行の算定式との比較

鉄道構造物における,あと施工アンカーの引抜耐力の 算定式を式(1)に示す。

 $P_{1} = 0.53\pi \ \phi(D+5.5\phi)\sigma_{c}^{\frac{1}{3}} + 0.36\pi \ D(L-4\phi)\sigma_{c}^{\frac{2}{3}}$ (1)

ここに, P<sub>1</sub>は引抜耐力(N), φはアンカー径(mm), Dは 削孔径(mm), σ<sub>c</sub>はコンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>), L が定着長(mm)である。この式は, 第1項のコーン破壊耐 力と第2項の付着破壊耐力とを累加した形になっており, 根元の4φをコーン破壊の抵抗領域, 4φより先端を付着破 壊の抵抗領域と仮定している。

図-9 に本研究で基本ケースとした, 圧縮強度 28.5N/mm<sup>2</sup>, アンカー筋 D25, 削孔径 32mm における実 験値と現行の算定式について, 定着長と最大荷重の関係 を示す。なお, 算定式は安全率3を見込んでいるので, 式(1)を3倍した値を記している。図-9より,現行の算 定式は安全側に設定されていることが確認できる。これ は,樹脂の付着強度等の材料特性が,近年,大幅に改善 したことが原因であると考えられる。また,定着長が大 きくなるにつれて,実験値と算定式との差異が大きくな るのは,定着長が大きくなるにつれて,付着強度が引抜 耐力に寄与する割合が増えるためと考えることができる。

# 4.2 耐荷機構の検討

アンカーの耐荷機構の検討を行うため、図-10 に示す ように溝切り加工したアンカー筋にひずみゲージを貼付 し、定着部のアンカーのひずみを計測した。そして、測 定したひずみゲージの値から、付着応力分布を求めた。

図-11に1-76-27-1の破壊形態の詳細、図-12に定着 深さ方向の付着応力分布,図-13に荷重変位関係を示す。 図-12において、実線が荷重増加時、破線が荷重低下時 の付着応力を示している。この値を深さ方向に積分した 値が引抜荷重であり、最大荷重時における付着応力の最 大値である約 18N/mm<sup>2</sup> が樹脂とアンカーとの付着強度 に相当する。また、付着応力の最大値は100~125mm (4) ~5)にあり,本試験体のコーン破壊深さ(124mm(5.0)) とほぼ一致する。このことから、アンカーと樹脂、ある いはコンクリートの付着応力が付着強度に達することに より,最大荷重,つまり引抜耐力に達すると考えられる。 この最大荷重時における、付着応力から計算された、コ ンクリート表面からコーン破壊深さまでの引抜荷重の負 担分(積分値)は、コーン破壊耐力に達していることか ら,この値が、いわゆる、みかけ上のコーン破壊耐力に 相当し、それ以深が付着破壊耐力に相当すると考えるこ とができる(図-14)。4 ゆを遷移領域としてコーン破壊 耐力と付着破壊耐力の累加で表している4.1節で示した 算定式は、概ねこの耐荷機構の考え方に一致している。

また,図-14はコーン破壊深さが浅い場合と深い場合 の付着応力分布の模式図であり,定着長が同一の場合, コーン破壊深さのばらつきは,引抜耐力に大きく影響し ないと考えることができる。これは,本研究の試験結果 と整合するものであった。

# 5. まとめ

本研究におけるあと施工アンカーの引抜試験の範囲に おいて,得られた知見を以下に示す。

- (1) あと施工アンカーの破壊形態は、定着長の増加にしたがって、コーン破壊から、コーン破壊と付着破壊の複合破壊となる。また、その境界は 30~60であった。
- (2) ある程度の定着長を有する複合破壊において、あと施工アンカーの耐荷機構は、定着深さが浅い領域のコーン破壊耐力と深い領域の付着破壊耐力の累加であると考えることができ、その遷移領域は30~60程度である。
- (3) ある程度の定着長を有する複合破壊において、定着 長が同一の場合は、コーン破壊深さのばらつきは、 引抜耐力に大きく影響しないと考えられる。
- (4) 現行の算定式は,安全側に設定されていることを確認したが,縁端寸法を12¢以上確保できない場合や施工のばらつきにより,耐力が大きく低下する可能性がある。



図-14 コーン破壊深さと付着応力分布の模式図

# 参考文献

- 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) 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・施工指針(案),2014
- 4) 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