コンクリートのひび割れに対するアンカー筋の種類による引抜き耐力の保持率に関する実験的研究

STUDIES ON THE RETENTION RATIO OF ULTIMATE LOAD FOR CRACK WIDTH OF CONCRETE BY TYPE OF ANCHOR

安藤重裕 — * 1   中野克彦 — * 2
田沼毅彦 — * 3   有木克良 — * 4

Shigehiro ANDO — * 1   Katsuhiko NAKANO — * 2
Takehiko TANUMA — * 3   Katsuyoshi ARIKI — * 4

キーワード：
あと施工アンカー、ひび割れコンクリート、ひび割れ幅、耐力保持率

Keywords:
Post-installed anchor, Cracked concrete, Crack width, Retention ratio

The relationship between crack width of concrete and retention ratio of ultimate load for cast-in-place anchor and inorganic type post-installed anchor was confirmed by introducing cracks after the construction anchor construction.

The retention ratio of ultimate load was 40 to 80% at crack width of 0.3 to 0.5 mm, and the retention rate in the confined test was equal to or greater than that of the unconfined test.

1. はじめに

欧州の規格である ETAG005 では、あと施工アンカーの母材コンクリートのひび割れに対する耐力評価が行われている¹⁾。この試験では、大型のコンクリートブロックを両端からの引っ張り、ひび割れ幅を調整し、ひび割れ箇所にあと施工アンカーの施工を行い、試験体を製作している。この方法は非常に大規模な試験となるため、試験の小型化が検討されている²⁾。

また、ひび割れコンクリートに対する接着系アンカーの試験では、有機系アンカーについて検討されているものの²⁾、無機系のあと施工アンカーに関する知見は非常に少ない³⁾。

本研究では、石原らの提案した小型化した試験方法を参考に²⁾、アンカー施工後にコンクリートにひび割れを導入し、先付けアンカーおよび超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの引抜き耐力に及ぼすコンクリートのひび割れの影響について、アンカー筋の種類および加力試験時の拘束方法による影響の評価を行った。

2. 実験概要

2.1 試験材料

試験に用いた接着系あと施工アンカーの物性値を表1に示す。試験に用いた接着系アンカーは、カートリッジ内に超速硬セメント、砂等が配合された粉体に水を注入、攪拌して用いるタイプであり、水結合材比 0.38 で混合して使用した。

2.2 試験体

試験体形状を図1に示す。試験体は、加力試験におけるコンクリートの割裂を防止するため、鋼管 (JIS G3444: STK400) 内に打込んだコンクリートを用いた。付着破壊を想定した拘束試験で用いた鋼管寸法は、外径216.3mm、厚さ4.5mm、コーン状破壊を想定した非拘

束試験の鋼管寸法は、外径267.4mm、厚さ6.0mmとした。アンカー筋は、竹節形状の高強度の異形鉄筋D13 (降伏点強度791N/mm²) および高強度の全ねじM12 (降伏点強度896 N/mm²) の鉄筋を使用し、アンカー筋の埋込み長さは、7da (da: アンカー筋の呼び径) とした。

試験に用いたコンクリートの圧縮試験、静弾性係数の測定は、φ100×200mm の円柱供試体を、アンカー材についてはφ50×100mmの円柱供試体を用い、付着試験実施と同時期に測定を行った。

あと施工アンカーの施工は、コンクリート打設から2ヶ月後に、D13についてはφ18mmで、M12についてはφ16mmで湿式コアドリルにて穿孔を行い、その直後にアンカー筋を定着させた。その後、1ヶ月以上養生した後に加力試験を行った。試験体数は、1条件につき各3体とした。

2.3 ひび割れ導入/加力試験装置

ひび割れ導入および加力方法は、図2に示す試験装置に試験体を設置し、アンカー筋への加力が可能な状態とした後に、試験体の側面から加力することによりコンクリートに割裂によりひび割れを導入し、その直後にアンカー筋への加力を行った。

コンクリートへのひび割れ幅の確認は、試験体に設置したパイ型変位計により行った。パイ型変位計の取り付け位置は、非拘束試験では試験体上面側のアンカー筋中心より50mm離れた2カ所とし、拘束試験では試験体下面側の試験体中心より40mm離れた箇所とした (図1)。試験体側面への加力によりひび割れを発生させ、側面からの加力の調整により、コンクリートのひび割れ幅を、0.1, 0.3, 0.5mmの3段階に調整した。

非拘束試験では、想定するコーン破壊直径以上の内径φ200mmの反力板を使用し、拘束試験では、内径φ28mmの反力板を使用した。試験体を試験体支持板の上に載せ、上記に記載した反力板を試験体

¹⁾ 住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 博士 (工学)
(〒274-8601 千葉県船橋市豊富町585)

²⁾ 千葉工業大学創造工学部建築学科 教授・博士 (工学)

³⁾ 独都市再生機構 博士 (工学)

⁴⁾ 独都市再生機構

¹⁾ Principal Research Engineer, Sumitomo Osaka Cement Corporation, Cement/Concrete Research Laboratory, Dr. Eng.

²⁾ Prof., Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.

³⁾ Urban Renaissance Agency, Dr. Eng.

⁴⁾ Urban Renaissance Agency

表1 試験に用いた材料物性値

母材コンクリート				アンカー材				アンカー筋					
圧縮強度(N/mm ²)		静弾性係数(kN/mm ²)		圧縮強度(N/mm ²)		静弾性係数(kN/mm ²)		径	種類	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	弾性係数(kN/mm ²)	伸び(%)
	Average		Average		Average		Average						
27.0	25.3	25.5	26.3	69.6	67.2	23.9	23.1	D13	MK785	791	955	190	12.9
24.7		27.0		66.5		22.2		M12	SNB7	869	1011	-	17.0
24.3		26.5		65.6		23.3							

表2 試験水準

試験体名	試験方法	定着方法	アンカー筋	穿孔径(mm)	埋込み長さ(mm)	反力板内径(mm)	ひび割れ幅(mm)
C-Cl-M12-0	拘束試験	先付け	M12	-	84	φ28	0.0
C-Cl-M12-01							0.1
C-Cl-M12-03							0.3
C-Cl-M12-05							0.5
C-PO-D13-0							0.0
C-PO-D13-01		あと施工	D13	φ18	91	φ28	0.1
C-PO-D13-03							0.3
C-PO-D13-05							0.5
C-PO-M12-0							0.0
C-PO-M12-01							0.1
C-PO-M12-03	非拘束試験	先付け	D13	-	91	φ200	0.3
C-PO-M12-05							0.5
U-Cl-D13-0							0.0
U-Cl-D13-01		あと施工	D13	φ18	91	φ200	0.1
U-Cl-D13-03							0.3
U-Cl-D13-05							0.5
U-PO-D13-0							0.0
U-PO-D13-01							0.1
U-PO-D13-03							0.3
U-PO-D13-05							0.5
U-PO-M12-0	非拘束試験	あと施工	M12	φ16	84	φ200	0.0
U-PO-M12-01							0.1
U-PO-M12-03							0.3
U-PO-M12-05							0.5

図3 ひび割れ導入における水平荷重とひび割れ幅の関係

非拘束試験 試験体上面

拘束試験 試験体下面

写真1 ひび割れ発生状況

測定は荷重、アンカー筋の拔出量とした。試験水準を表2に示す。試験体側面から加力を行わずひび割れを導入しないものを0mmとした。

3. 試験結果

3.1 ひび割れ導入状況結果

図3にコンクリートのひび割れ幅を0.3mmとした試験体のひび割れ幅と水平荷重の関係を示す。ひび割れは、非拘束試験体で約95kN、拘束試験体では80kNで発生した。ひび割れが発生した荷重は、コンクリートの引張強度が圧縮強度の1/13と仮定した場合のコンクリートの割裂引張荷重と同等であった。

ひび割れ幅の調整における水平荷重は、試験体による荷重差は小さく、非拘束試験では、ひび割れ幅を0.3mm程度に調整するためには、約170kN、拘束試験では、約100kN加力する必要があった。また、ひび割れが発生させた54試験体のうち1試験体を除き、ひび割れは、アンカー筋近傍に発生することが確認された(写真1)。水平方向への荷重調整により、ひび割れ幅を設定値とした後、アンカーへの加力試験中には、水平方向から荷重の調整は行わなかった。

3.2 加力試験結果

表3に加力試験結果を、図4に荷重変位曲線を示す。

拘束試験について、付着強度は最大耐力をアンカー筋の直径と埋込み長さより算出したアンカー筋の表面積で除した値とした。また、C-P0-M12-01の破壊モードがアンカー筋破断であったため、ひび割れ幅0mmのC-P0-M12-0の試験は実施しなかった。

耐力保持率は、ひび割れ幅0mmの耐力に対する比率とした。ただし、C-P0-M12-0について、C-P0-M12-0の付着強度を、C-P0-D13-0と同等である32N/mm²と仮定し、ひび割れコンクリートの耐力保持率を算出した。

非拘束試験 試験体

拘束試験 試験体

図1 ひび割れコンクリート用試験体

図2 ひび割れ/加力試験装置(拘束試験)

の上に設置し、反力板の上にラムチェアー、センターホールジャッキおよび球座を設置し、センターホールジャッキにより試験体に引張力を導入した。

拘束試験、非拘束試験ともに、ひび割れ幅の増加に伴い最大耐力は低下した。先付けアンカーの拘束試験では、ひび割れ幅による最大耐力の変動係数（CV）には大きな差はなく、再現性のある荷重変位曲線が得られた。しかし、あと施工アンカーの拘束試験における変動係数は、ひび割れ幅により大きく異なった。あと施工アンカーの試験後のアンカー筋の状況より（写真2）、コンクリートに導入したひび割れ箇所は、アンカー筋－アンカー材の界面とアンカー材－コンクリート界面で混在していたと推測される。先付けアンカーのひび割れ箇所は、アンカー筋界面だけであるのに対し、あと施工アンカーでは、ひび割れ箇所がアンカー筋界面とコンクリート界面の

表3 加力試験結果

試験体名	ひび割れ幅 (mm)	最大耐力(kN)						付着強度(N/mm ²)*4				耐力 保持率(%)	
		①	②	③	Ave.	標準偏差	CV(%) ^{*1}	①	②	③	Ave.	①	Ave.
C-CI-M12-0	0.0	39.3	43.0	36.2	39.5	2.8	7.0	12.4	13.6	11.4	12.5	100	
C-CI-M12-01	0.1	31.4	35.6	35.7	34.2	2.0	5.9	9.9	11.2	11.3	10.8	87	
C-CI-M12-03	0.3	25.3	27.4	28.7	27.1	1.4	5.1	8.0	8.6	9.0	8.6	69	
C-CI-M12-05	0.5	25.6	21.3	23.2	23.3	1.8	7.6	8.1	6.7	7.3	7.4	59	
C-PO-D13-0	0.0	110.6	117.2	121.2	116.3	4.4	3.8	30.5	32.3	33.4	32.0	100	
C-PO-D13-01	0.1	98.9	99.0	102.1	100.0	1.5	1.5	27.2	27.3	28.1	27.5	86	
C-PO-D13-03	0.3	98.9	72.0	95.3	88.7	11.9	13.4	27.2	19.8	26.3	24.4	76	
C-PO-D13-05	0.5	65.0	80.3	77.4	74.3	6.6	8.9	17.9	22.1	21.3	20.5	64	
C-PO-M12-0	0.0	-*2	-*2	-*2	-*2			-*2	-*2	-*2	(32.0)	100	
C-PO-M12-01	0.1	95.3	92.6	94.0	94.0	1.1	1.2	30.1	29.2	29.7	29.7	93	
C-PO-M12-03	0.3	79.2	74.4	77.6	77.1	2.0	2.6	25.0	23.5	24.5	24.3	76	
C-PO-M12-05	0.5	74.5	61.3	65.5	67.1	5.5	8.2	23.5	19.4	20.7	21.2	66	
U-CI-D13-0	0.0	34.7	38.3	40.9	38.0	2.5	6.7	-	-	-	-	100	
U-CI-D13-01	0.1	28.5	31.2	27.4	29.0	1.6	5.6	-	-	-	-	76	
U-CI-D13-03	0.3	20.8	20.8	21.7	21.1	0.5	2.2	-	-	-	-	56	
U-CI-D13-05	0.5	17.5	15.1	15.9	16.2	1.0	6.2	-	-	-	-	43	
U-PO-D13-0	0.0	76.8	86.1	70.7	77.9	6.4	8.2	-	-	-	-	100	
U-PO-D13-01	0.1	67.9	64.2	-*3	66.1	1.9	2.8	-	-	-	-	85	
U-PO-D13-03	0.3	47.2	52.0	51.2	50.1	2.1	4.2	-	-	-	-	64	
U-PO-D13-05	0.5	48.6	33.5	39.9	40.7	6.2	15.2	-	-	-	-	52	
U-PO-M12-0	0.0	61.7	63.4	63.9	63.0	1.0	1.5	-	-	-	-	100	
U-PO-M12-01	0.1	59.4	56.5	58.9	58.3	1.3	2.2	-	-	-	-	93	
U-PO-M12-03	0.3	56.8	37.4	38.3	44.2	9.0	20.3	-	-	-	-	70	
U-PO-M12-05	0.5	45.4	46.9	41.2	44.5	2.4	5.4	-	-	-	-	71	

*1: 変動係数

*2: アンカー筋破断となるため、試験未実施

*3: アンカー筋近傍にひび割れが入らなかったため、試験値から除外

*4: 付着強度＝最大耐力/($\pi \times$ アンカー筋径 $\times$ 埋込み長さ)

図4 荷重変位曲線

両者が混在し、この割合が試験体により異なるため、あと施工アンカーの方が先付けアンカーよりひび割れ幅により変動係数に差が生じたものと考えられる。

非拘束試験では、ひび割れ箇所の左側と右側で破壊状況が異なるものが多数確認された。30～40kNの加力時において、左右片側のみのコーン状破壊から生じるひび割れが、コンクリート表面に観察された。この影響により、左右での変位測定に大きな差が生じ始め、図4に示すように非拘束試験のあと施工アンカーの試験途中より正確な変位測定が不可能となったものも存在した。

図5に加力試験時の拘束試験および非拘束試験のひび割れ幅の推移の一例を示す。拘束試験における加力時のひび割れ幅は、荷重の増加にともない若干ひび割れ幅は小さくなる傾向を示した。これは、ひび割れ幅の測定箇所が試験体下面側であるため、アンカー筋の引き抜けに伴う試験体上部の外周方向への圧縮力の影響により、試験体下面側のひび割れ幅が小さくなったためと推測される。

非拘束試験では、加力に伴ってひび割れ幅は増加する傾向となり、最大耐力時には、初期のひび割れ幅より0.2mm以上ひび割れ幅は大きくなった。非拘束試験でのひび割れ幅の測定箇所は、試験体上面側であるため、アンカー筋の引き抜けに伴い、ひび割れ幅が大きく

図5 加力試験時のひび割れ幅

図6 ひび割れ幅と耐力保持率

なったと考えられる。

図 6 にひび割れ幅と耐力保持率の関係を示す。コンクリートのひび割れによるアンカーの耐力保持率は、ひび割れ幅 約 0.5mm までの範囲において、ひび割れ幅の増加にともない耐力保持率は低下する傾向が認められた。ひび割れ幅 0.3～0.5mm において、耐力保持率は 40～80%であり、拘束試験におけるひび割れによる耐力保持率は、非拘束試験と同等もしくはそれ以上であった。

予めコンクリートにひび割れを導入した試験体に接着系アンカーを定着させたアンカーの耐力について Eligehausen らの報告では⁴⁾、埋込み長さ 8da、ひび割れ幅 0.3～0.4mm の場合、耐力保持率は 25%～80%に分布し平均的には約 50%に低下するデータを示している。本研究における結果は、Eligehausen らの報告の中央値に近いものであった。このことから、施工後にアンカー筋近傍にひび割れが発生することが予想されるものについて、欧州の規格の ETAG005 と同様ひび割れ幅による耐力保持率を考慮した設計をする必要がある。

写真 2 に、加力試験後のあと施工アンカー M12 のアンカー筋の状況を示す。付着破壊した箇所のアンカー筋部分は、拘束試験、非拘束試験ともに、アンカー材－アンカー筋界面とコンクリート－アンカー材界面での破壊が混在していた。

写真 3 に非拘束試験後の母材コンクリートの破壊状況を示す。ひび割れを導入したコンクリートにおいて、先付けアンカーでは、あと施工アンカーに比べ、コーン状に破壊する面積が著しく小さいものであった。ひび割れ発生箇所は、先付けアンカーではアンカー筋

界面－コンクリート界面であるのに対し、あと施工アンカーでは、アンカー材－コンクリート界面と、アンカー材－アンカー筋の界面があり、あと施工アンカーではアンカー材とコンクリートが付着している部分も存在したことから、破壊したコーン径が大きくなったものと推測される。

あと施工アンカーのアンカー筋近傍のひび割れによる破壊形状はひび割れ方向を長径とする楕円状になり、D13、M12 ともに先端 20～40mm 程度の付着破壊とコーン破壊の複合したものであった。

あと施工アンカーの M12 と D13 の比較では、M12 の方が D13 より破壊したコーン面積は大きい傾向であり、非拘束試験における M12 の耐力保持率は D13 と同等もしくはそれ以上であった。試験後のアンカー筋の破断箇所の状況から、M12 の表面の凹凸の影響によりアンカー材とアンカー筋との接着性が D13 より高く、ひび割れたコンクリートにおいて、母材コンクリートへ伝達する応力は M12 の方が大きかったため、M12 の方が破壊したコーン状の面積が大きくなったことが考えられる。

また、アンカー筋に対しひび割れが貫通した側の破壊形状は、コーンの角度が比較的急なものとなり、ひび割れが貫通しなかった側の方がコーン径は大きくなる傾向が認められた。

4. まとめ

あと施工アンカー施工後にコンクリートに割裂によるひび割れを導入し、先付けアンカーと無機系あと施工アンカーについて、ひび割れ幅と耐力保持率の関係を確認した。

- 1) 今回の試験装置を用いることにより、アンカー施工後にアンカー筋近傍に入るひび割れ幅を制御したアンカーの耐力の評価が可能であった。
- 2) 予めコンクリートにひび割れが入ったコンクリートに定着させたアンカーと同様に、ひび割れ幅 0.3～0.5mm において、耐力保持率は 40～80%であり、拘束試験におけるひび割れによる耐力保持率は、非拘束試験と同等もしくはそれ以上であった。
- 3) あと施工アンカーの全ねじ M12 と異形鉄筋 D13 の比較では、M12 の耐力保持率は D13 と同等もしくはそれ以上であった。
- 4) アンカー筋近傍にひび割れが発生させた試験体において、あと施工アンカー M12 のアンカー筋では、アンカー材－アンカー筋界面とコンクリート－アンカー材界面での破壊が混在しており、ひび割れの入り方によりアンカーの破壊形状に影響を与えたことが考えられる。

参考文献

- 1) European Organisation for Technical Approvals ETAG 001 Annex A: DETAILS OF TESTS, pp.5～16, 2013
- 2) 石原力也, 国枝稔, 川口潤, 高橋宗臣: コンクリートのひび割れがあと施工アンカーの力学性能に与える影響評価のための試験方法の開発, 日本材料学会 コンクリート構造物の補修・補強アップグレード論文報告集, 第 15 巻, pp. 381～386, 2015. 10
- 3) 川上明大, 安藤重裕, 中野克彦, 渡辺一弘: 超速硬セメント系注入式あと施工アンカーの引抜き耐力に及ぼすひび割れの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, pp. 1894～1899, 2014
- 4) Rolf Eligehausen, Rainer Mallee, John F. Silve: Anchorage in Concrete Construction, Ernst & Sohn A Willey Company, p205, 2006

[2018 年 6 月 5 日原稿受理 2018 年 8 月 10 日採用決定]

点線は、コンクリート－アンカー材の界面

写真 2 M12 の試験後のアンカー筋の状況

写真 3 非拘束試験後の母材コンクリートの状況