

論文 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と実験的研究

石原 力也*1, 国枝 稔*2, 高橋 宗臣*3

要旨: コンクリートのひび割れ近傍にあるあと施工アンカーの力学的性能まで設計時に考慮する事が出来れば、リダンダンシーの高いアンカーの選定や提案が可能となる。これまで、その評価方法および設計への取り扱いについて、日本においては十分な知見がなかった。そこで、欧米の性能評価型試験方法を参考に、接着系・金属系アンカーの引抜き試験を実施し、ひび割れ条件下でのアンカーの耐荷力への影響を検討してきた。さらに、ひび割れに対する耐荷力性能試験の小型化を目指し、試験方法の開発を行った。試験方法については、付帯設備の設置等に用いるサイズのアンカーの標準試験方法として開発できる可能性が示された。

キーワード: あと施工アンカー, 接着系, 金属系, ひび割れ, 性能評価,

1. はじめに

コンクリートのひび割れ近傍にあるあと施工アンカーの耐荷力の評価方法および設計での取り扱いについて、日本の土木分野においては十分な知見がなく、データの充実が望まれている。特に、母材コンクリートのひび割れを設計段階で考慮できるように、欧米で整えられているような、ひび割れに対するアンカーの安定性を評価するシステムも構築されていない点が課題ともいえる。

本研究では、割裂試験により、コンクリートにひび割れを発生させ、接着系および金属系の2種類のあと施工アンカーの引抜き試験を実施し、母材コンクリートのひび割れがアンカーの耐荷力に与える影響を評価する試験方法を検討した。

2. 既往の研究

あと施工アンカーに関する研究については、様々な施工条件の金属系・接着系アンカーの引張りやせん断の静的荷重に対する性能評価が大半であり、母材コンクリートのひび割れとあと施工アンカーの耐荷力の関連性についての報告は少ない。例えば以下の報告がある。

1) Characteristic Resistance of Fastenings with Bonded Anchors and Connections with Post-installed Reinforcing Bars¹⁾

コンクリートのコーン状破壊を最大耐力とした場合に、ひび割れがある場合の接着系アンカーの最大付着強度は、ひび割れが無い場合の約70%であるとされている。

2) Design of Fastenings in Concrete (Draft CEB Guide)²⁾

国際的な金属系アンカーの最初の設計指針案であり、コンクリートのコーン状破壊に対するひび割れ影響係数(割増係数)をひび割れのある場合を1.0とし、ひび割れの無い場合には1.4と定めている。

3) Design of Bonded Anchors³⁾

欧州における接着系アンカーの設計指針であり、引張力によるコンクリートのコーン状破壊とせん断耐力に対する設計式を示している。コーン状破壊の耐力式では、ひび割れの無いコンクリートには係数として10.1を乗ずるのに対し、ある場合では7.2を乗ずる式となっている。(図-1参照)せん断力でも同様に、ひび割れの無い場合には2.4を、あるコンクリートには1.7を乗ずる式となっている。

4) Anchoring to Concrete⁴⁾

アメリカの接着系アンカーの設計指針で、付着強度に関して、母材コンクリートの強度、材齢、温度やアンカー施工及び使用環境等の条件付きで最小保障付着強度を定めており、ひび割れによる低減係数は0.3(ひび割れが無い場合の0.3倍)となっている。

5) (一社)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」⁵⁾

ひび割れによる影響は、幅、深さ、ひび割れからの距離などにより変化し、その要因が複合的であり、影響度合の判断も困難であるとされている。そのため、ひび割れを考慮する場合には、ひび割れ係数により設計耐力を低減すると定めており、ひび割れ幅が0.3mm以下の場合にはひび割れ係数を0.5とするのがよいとされている。

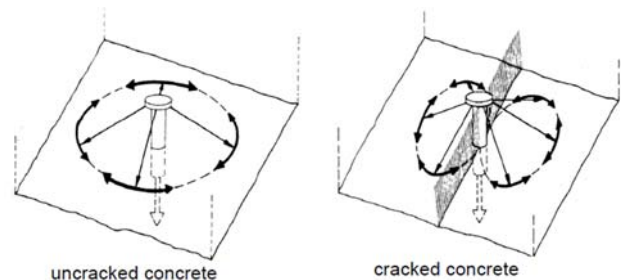


図-1 コンクリートコーン破壊

*1 日本ヒルティ 技術本部仕様認証課 (正会員)

*2 岐阜大学工学部社会基盤工学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 日本ヒルティ 技術本部仕様認証課 課長 (正会員)

6) (一社) 日本建築学会「日本建築学会各種合成構造設計指針 2010」⁶⁾

接着系アンカーに限定すると、コンクリートにひび割れが生じている場合、有効埋込み深さ 8d、ひび割れ幅 0.3mm 程度という条件では引張力は平均的に約 50%に低下するとされ、平均付着強度を適切に低減して評価する必要があるとされている。

3. 欧州における現在の試験方法

先述の通り、EOTA(European Organisation for Technical Approvals)や ACI(American Concrete Institute)により、アンカーのひび割れ影響試験の方法が既に確立されている。図-2 にそれらのガイドラインに従った試験における供試体の様子を示すが、1800×1800×250mm のコンクリート板を用いて、12～16 本のアンカーの試験を行うことになる。また、穿孔後のひび割れが、アンカーの下孔の孔底まで入っていることを確認することになっており、下孔まで入っていない場合は、その孔は使用せず、再度穿孔する。(図-3 参照) によって同じ大きさのコンクリート板を使用しても、試験できる本数が少なくなる場合もあり、試験効率の面においての課題とも言える。

既往の試験方法を参考にしながらも、我が国で標準試験法を定める際には、より簡便に効率よくアンカーの評価が行える方法を検討するのがよい。



図-2 ひび割れの影響試験
(ETAG : Guideline For European Technical Approval)

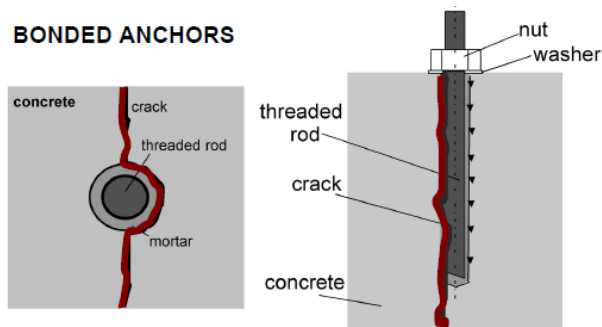


図-3 ひび割れ状況

4. 実験概要

4.1 使用材料および供試体の作製

試験中のひび割れ幅の制御の有無、アンカー種類、ひび割れ幅をパラメータとして、引抜き試験を実施した。表-1 にパラメーター一覧を示す。アンカーの仕様に関しては、サイズは M12 とし、アンカーの種類は、金属系アンカーと接着系アンカーの各 1 種とし、金属系は拡張アンカーの内部コーン打込み式アンカー(穿孔径 15.0mm, 穿孔長 50mm), 接着系はエポキシ系注入方式のカートリッジ型アンカー(穿孔径 14.0mm, 穿孔長 84mm)を用いた。

供試体は、鋼管(一般構造用鋼管、鋼管厚 4.5mm)にコンクリートを打設し作製した(図-3 参照)。鋼管の外径は、金属系、接着系アンカーの埋込み長の 2 倍以上である 216mm とし、供試体は、各パラメータにつき 5 体作製した。表-2 に示す配合のコンクリートを使用し、試験時のコンクリート圧縮強度は 20.3N/mm²であった。

4.2 ひび割れの導入

供試体の中心にアンカー穿孔を行い、アムスラー式圧縮試験機により割裂ひび割れを導入した(図-5 参照)。ひび割れの位置確認とマーキングを行い、ひび割れ導入状況をファイバースコープにて確認した。下孔の中の状況を図-6 に示す。ひび割れが穿孔した穴を貫通するように発生していることが分かる。先行ひび割れの位置を目視にて確認した後、荷重が 0.0kN となるまで除荷した。

表-1 パラメーター一覧

ひび割れ導入	ひび割れ幅制御	アンカー種類	ひび割れ幅(mm)	数量(本)	試験体No,
無し	-	金属系	—	5	M-0N-1～5
		接着系	—	5	C-0N-1～5
有り	無し	金属系	0.2	5	M-2N-1～5
			0.5	5	M-5N-1～5
		接着系	0.2	5	C-2N-1～5
			0.5	5	C-5N-1～5
	有り	金属系	0.2	5	M-2C-1～5
			0.5	5	M-5C-1～5
		接着系	0.2	5	C-2C-1～5
			0.5	5	C-5C-1～5

ひび割れ導入		アンカー種類	初期ひずみ	数量(本)	試験体No,
無し(圧縮状態)		接着系	100	5	C-0S-1-1～5
			200	5	C-0S-2-1～5

表-2 母材コンクリートの配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (N/mm ²)
		水	セメント	細骨材	粗骨材	Ad	
60.4	47.9	180	298	851	926	3.2	20.3

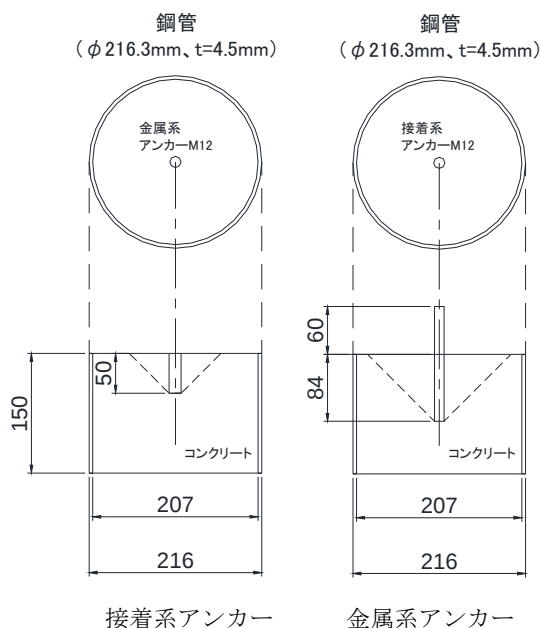


図-4 供試体形状



図-5 先行ひび割れ導入および坑内ひび割れ状況
(ファイバースコープ撮影)

4.3 試験の手順

その後、穿孔した孔にアンカーの施工を行い、引抜き試験を実施した。精度 $1/1000\text{mm}$ のパイ型変位計をひび割れを跨ぐ位置に2ヶ所設置し、試験中のひび割れ幅を計測した。上部に容量 200kN のセンターホールジャッキおよび容量 200kN 、精度 100N のロードセルを配置して引張力を測定した。アンカーの変位はストローク 25mm 、精度 $1/500\text{mm}$ の高感度変位計を用いてアンカー先端位置の拔出し変位を測定した(図-6 参照)。

荷重の手順としては、まず所定のひび割れ幅となる様に水平方向に配置された油圧ジャッキを用いて供試体を圧縮し、ひび割れを所定の幅(0.2mm , 0.5mm)となるまで広げた(図-7 参照)。そして、所定の幅に達したことを確認した状態で、引抜き試験を実施した。引抜き試験は非拘束型で行い、ひび割れ幅の制御については、管理値を所定の幅の $\pm 5\%$ の範囲とし、 0.2mm の試験は $0.19\sim 0.21\text{mm}$ 、 0.5mm の試験は $0.475\sim 0.525\text{mm}$ の範囲で制御した。また、ひび割れ導入なしのコンクリートにおけるひずみとアンカーの耐力への影響を調べる為にアンカー四方にひずみゲージ(長さ 30mm)を設置し、ひび割れが発生しない範囲で圧縮力を加えその状態で引張試験を実施した。(図-7 参照)

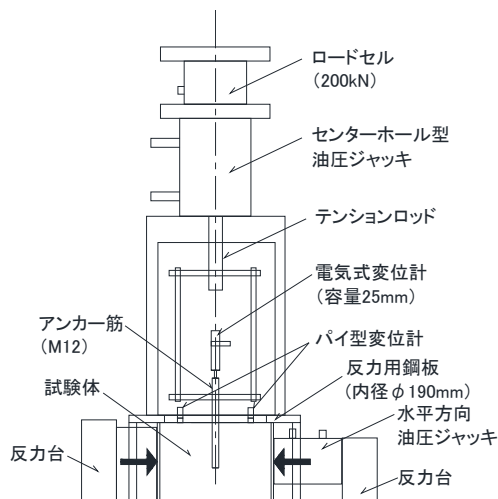


図-6 試験装置

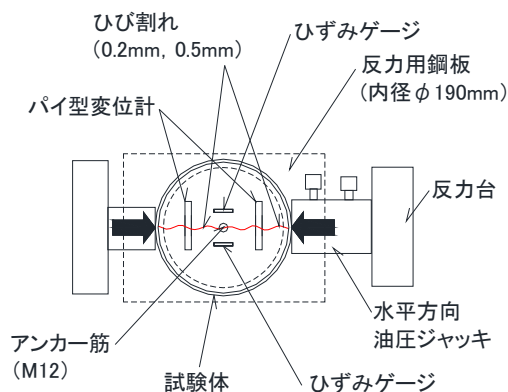


図-7 ひび割れ幅調整状況

5. 実験結果

表-3に、破壊モード、最大荷重値平均値(5体)、変動係数、95%信頼値、およびひび割れなし(グラフ中では 0mm と示す)の95%信頼値を基準100%とした残存率(%)を示す。最大荷重平均値(kN)は、ひび割れ幅が 0.2mm 、 0.5mm と大きくなるにつれて低下する傾向にあり、特に金属系アンカー(M)において顕著であった。

図-8に、ひび割れ幅別の最大荷重の残存率を示す。金属系アンカーは、ひび割れ幅 0.2mm の場合は60%程度、ひび割れ幅 0.5mm の場合は32~45%程度であった。接着系アンカーは、ひび割れ幅 0.2mm の場合は79~89%程度、ひび割れ幅 0.5mm の場合は65~87%程度であった。

また、ひび割れ幅の制御の影響に関しては、金属系も接着系も同様に、さらにはひび割れ幅の違いに関わらず、制御ありの場合の方が残存率の値が大きく、ひび割れ幅を制御することで、耐力への影響は少ない結果となった。

破壊モードに関しては、金属系アンカーでは、ひび割れなしの場合は、5体全てアンカー抜けとコーン状破壊の複合破壊であった。ひび割れ幅が 0.2mm と 0.5mm の制御ありなし共に、一部小さなコーン状破壊との複合破壊があっ

表-3 実験結果

ひび割れ導入	ひび割れ幅制御	アンカー種類	ひび割れ幅(mm)	試験体No.	破壊モード	最大荷重 (kN)			
						平均	変動係数	95%信頼値	残存率(%)
無し	-	金属系	0	M-0N-1~5	A・B	22.4	11.0	17.5	100.0
		接着系	0	C-0N-1~5	B・C	77.6	3.2	72.6	100.0
有り	無し	金属系	0.2	M-2N-1~5	A・B	15.4	15.9	10.5	60.0
			0.5	M-5N-1~5	A	10.7	23.1	5.7	32.7
		接着系	0.2	C-2N-1~5	B・C	62.8	3.9	57.9	79.7
			0.5	C-5N-1~5	B・C	52.3	4.7	47.4	65.2
	有り	金属系	0.2	M-2C-1~5	A	15.5	15.9	10.5	60.3
			0.5	M-5C-1~5	A	12.9	19.1	7.9	45.3
		接着系	0.2	C-2C-1~5	B・C	69.6	3.5	64.7	89.1
			0.5	C-5C-1~5	B・C	68.3	3.6	63.3	87.2
無し (※圧縮)	歪み100 μ	接着系	0.5	C-0S-1-1~5	B・C	75.3	3.3	70.3	96.9
	歪み200 μ		0.5	C-0S-2-1~5	B・C	68.4	3.6	63.5	87.4

※破壊モード A: アンカー抜け B: コーン状破壊 C: 付着破壊

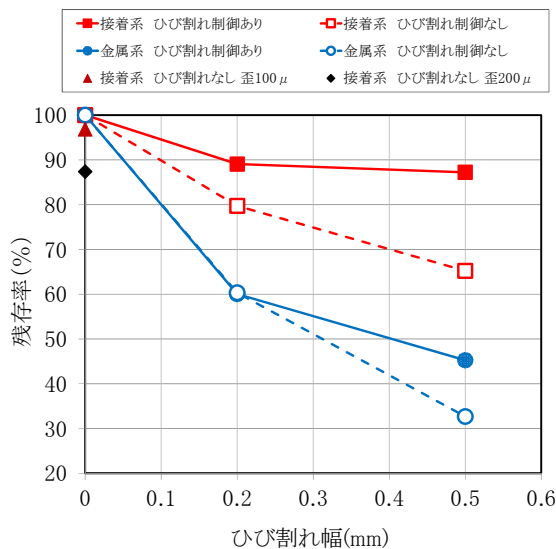


図-8 ひび割れ幅別最大荷重(95%信頼値)の残存率



図-9 破壊形態

たが、ほとんどがアンカー抜け破壊であった。(図-9 参照)

図-10 に接着系アンカーのコーン状破壊深さL (mm)を示す。ひび割れ幅が大きい程、付着力が低下しコーン状破壊深さおよびコーン状部分の容積が減少することで最大耐力低下に繋がっていることが本試験方法で評価できる事が確認できた。図-13 に金属系アンカーのひび割れ幅 0.5mm の引張試験中のひび割れ幅の推移を示す。制御なしは有りに比べ、0.2~0.8mm 程度開いたところで破壊に至った。0.2mm に関しては制御ありとなしではほとんど違いがみられなかった。これは拡張タイプのアンカーの固着力である摩擦力が、ひび割れにより減少し、荷重の増加に対して容易に抜け易くなるためと考えられる。

接着系アンカーの破壊モードに関しては、付着破壊とコーン破壊の複合破壊がほとんどであった。ひび割

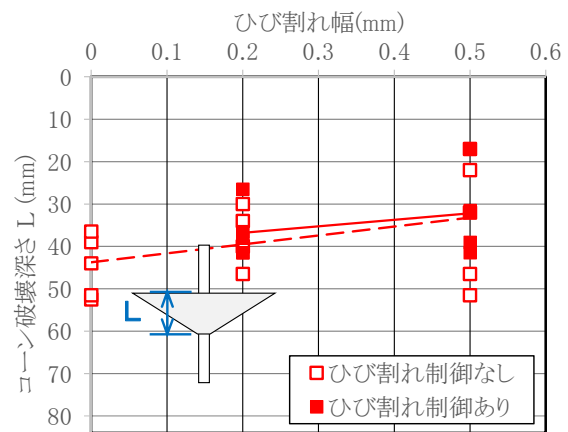


図-10 コーン状破壊深さ

れありの場合では、コーン状破壊のコーンがひび割れにより2分割やそれ以上に分割されて破壊した。

図-14 に接着系アンカーのひび割れ幅 0.5mm の引張試験中のひび割れ幅の推移を示す。制御なしでは、

0.2~0.3mm 程度ひび割れ幅が大きくなり破壊に至っている。そのひび割れ幅の影響により最大荷重が減少している。金属系アンカーと比較するとひび割れ幅を制御することで最大荷重の低下が少なくなっている。

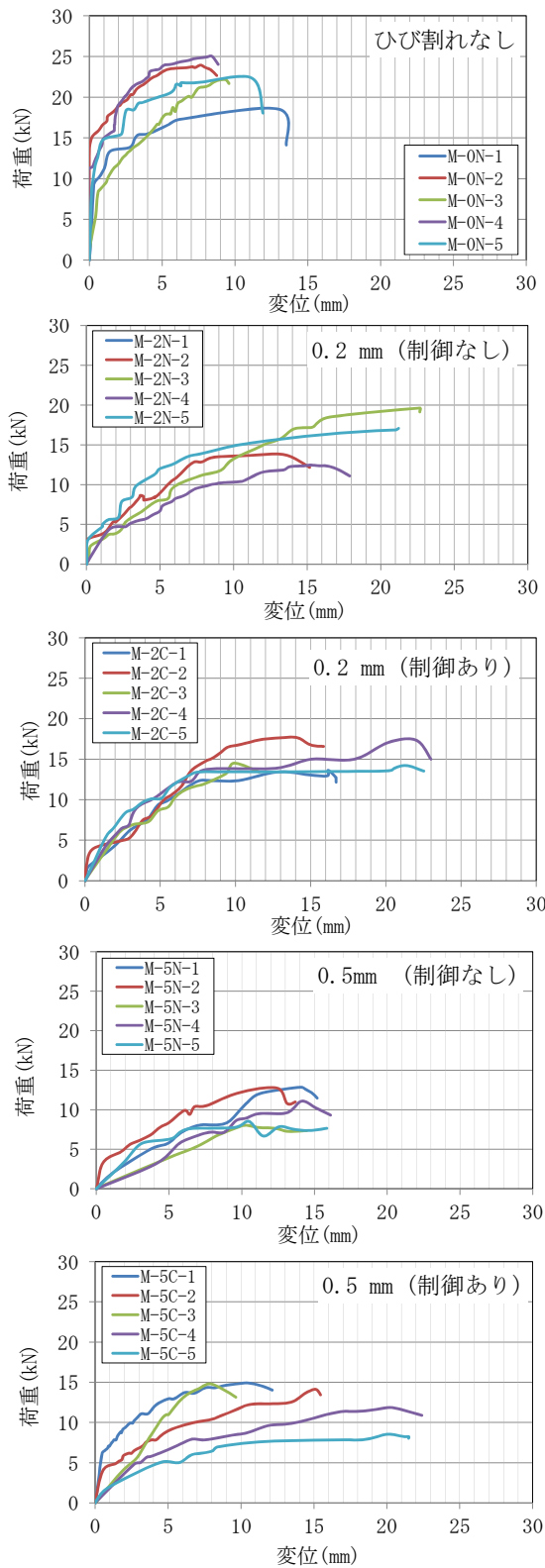


図-11 金属系アンカーの荷重－変位曲線

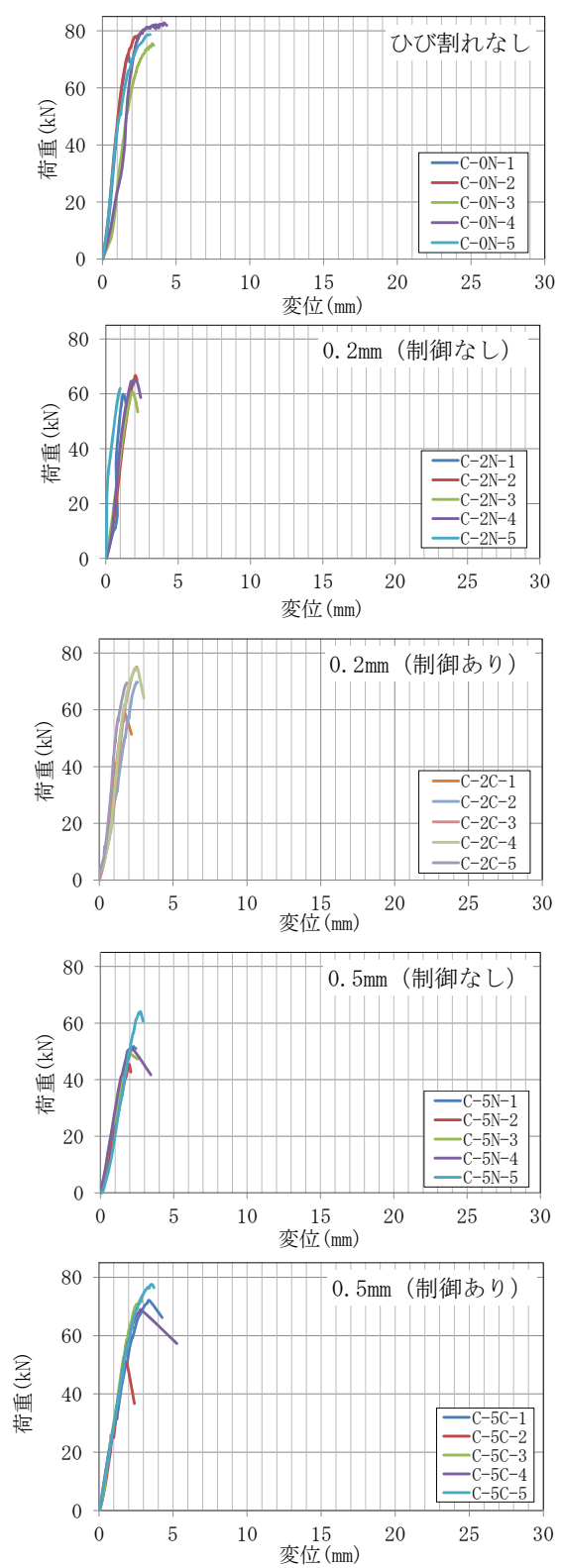


図-12 接着系アンカーの荷重－変位曲線

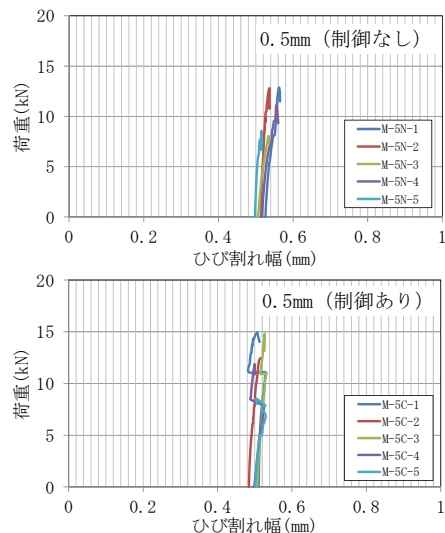


図-13 金属系アンカー（ひび割れ幅 0.5mm）
引張試験中のひび割れ幅の推移

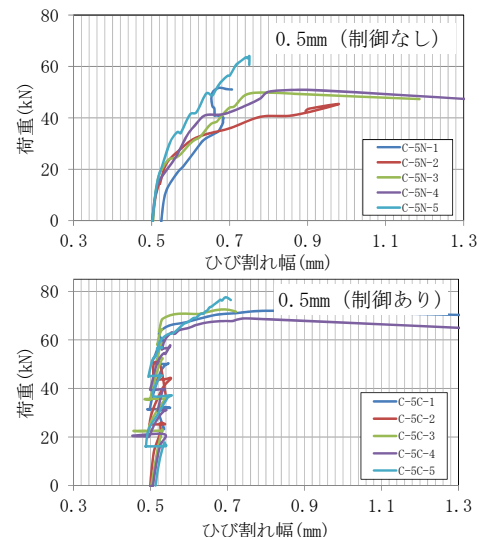


図-14 接着系アンカー（ひび割れ幅 0.5mm）の
引張試験時のひび割れ幅の推移

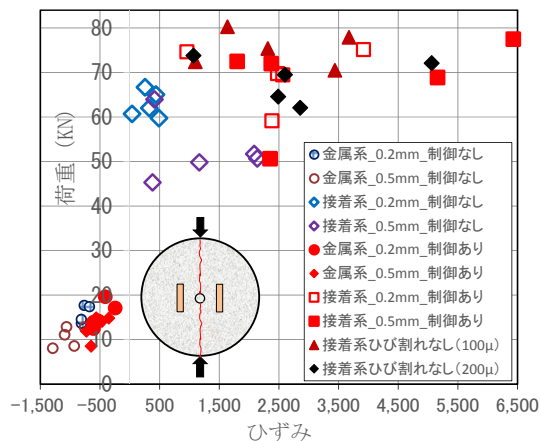


図-15 最大荷重時のひずみ

また、図-15 に、図-7 に示す位置で計測した引張試験の最大荷重時でのコンクリート表面ひずみの分布をグラフに示す。ひび割れ幅を制御した際には、0.2mm では $-600 \sim -800 \mu$ 、0.5mm では $-500 \mu \sim -1,500 \mu$ の圧縮ひずみが発生した。金属系アンカーは、その圧縮状態から、 $-200 \sim -1000 \mu$ で破壊した。一方、接着系アンカーは、その圧縮状態から、 $+500 \sim +6,500 \mu$ の引張状態で破壊した。

6. まとめ

コンクリートのひび割れ近傍にあるあと施工アンカーの耐荷力評価に向けて小型で簡便に行える試験方法の開発を目指し、鋼管にコンクリートを充填し、割裂試験によりコンクリートにひび割れを発生させた母材を用いる試験方法を検討した。接着系および金属系のアンカーの引抜き試験を実施し、一定のひび割れ幅の制御が可能であり、ひび割れにより低減されるコンク

リートのコーン状破壊メカニズムが評価出来る事から、本研究の範囲（アンカーサイズ M12・埋込長 7d (84mm) 母材厚 150mm・耐力 70kN 以下）内、例えば付帯設備の設置等に用いるサイズの標準試験方法として開発できる可能性が示された。

参考文献

- 1) Characteristic Resistance of Fastenings with Bonded Anchors and Connections with Post-installed Reinforcing Bars, fib, Design Guide Part-II/III, 2010
- 2) Design of Fastenings in Concrete (Draft CEB Guide), CEB, CEB226, 1995
- 3) Design of Bonded Anchors, EOTA, EOTA TR029, 2007
- 4) Anchoring to Concrete, ACI, ACI318-011 Appendix D (draft), 2010
- 5) あと施工アンカー設計指針（案）・同解説, (一社)日本建築あと施工アンカー協会, 2005 年
- 6) 日本建築学会各種合成構造設計指針 2010(一社) 日本建築学会, 2010
- 7) EOTA : ETAG001 Part five : BONDED ANCHORS, Annex A:DETAILS OF TESTS, Apr.2013
- 8) 青木圭一, 西田宏司, 前田晴人, 石原力也: あと施工アンカーにおけるひび割れの影響試験について, コンクリート工学, Vol.1.54, No.3, pp.170-175, 2016.2
- 9) 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