

論文 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

川上 明大*1・安藤 重裕*1・中野 克彦*2・渡辺 一弘*3

要旨：超速硬セメント系注入式あと施工アンカーに関して、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、ひび割れ幅、ひび割れ深さおよびひび割れの導入時期に着目して検討した。その結果、コンクリートにひび割れが存在する場合、アンカーの引抜き耐力が低下することが明らかになった。ひび割れ幅による影響は、明確な差が見られなかった。ひび割れ深さの影響は、ひび割れ深さが深い場合、アンカーの引抜き耐力の低下が大きいことがわかった。また、ひび割れの導入時期の影響は、アンカー施工前に比べ、アンカー施工後では、アンカー筋周辺のひび割れの位置により、引抜き耐力が大きく異なることがわかった。

キーワード：あと施工アンカー、超速硬セメント、接着系アンカー、引抜き耐力、ひび割れ

1. はじめに

あと施工アンカーの長期耐久性を検討する上で、引張クリープ特性、疲労特性等の影響を検討する必要がある。また、躯体コンクリートのひび割れがあと施工アンカーの引抜き耐力に大きな影響を与えるため、ひび割れのないコンクリートの引抜き耐力に対する低減の必要性が提言されている¹⁾。これまで、有機系のアンカー材料の低減率については、検討されているものの、無機系のあと施工アンカー材料に関する知見は非常に少ないのが現状である。

また、アンカー施工後に乾燥収縮等でひび割れが生じたコンクリートに関する試験方法²⁾は、非常に大がかりな試験装置であり、簡易に評価することが困難である。

そこで、本研究では、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躯体コンクリートのひび割れの影響について、ひび割れ幅、ひび割れ深さおよびひび割れ導入時期に着目し、引抜き耐力の低減率を導くための試験方法を検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

アンカー材は、超速硬セメント、砂等がプレミクスされた粉体と水を円筒状のカートリッジ内で混合（水結合

材比 0.38）するタイプの材料を使用した。コンクリートは、呼び強度 21 を使用した。アンカー筋は、M12 (SNB7) の全ネジボルトを使用した。アンカー施工は、コンクリートの材齢が 28 日の時点で行った。アンカー使用材料の物性を表－1 に示す。なお、物性試験で用いた円柱供試体の寸法および材齢は、コンクリートが $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、アンカー材が $\phi 50 \times 100\text{mm}$ であり、20℃の気中で 7 日間養生した。

2. 2 テフロンシートで模擬ひび割れを導入したモデル試験

検討に使用したコンクリートの形状を図－1 に示す。

ひび割れの模擬には、テフロンシートを使用した。コンクリート試験体の穿孔には、 $\phi 16\text{mm}$ の湿式コアドリルを使用し、穿孔位置は、試験体中心の模擬ひび割れ直上とした。アンカー施工は、アンカー筋の埋込み深さが 6da (da：アンカー筋の呼び径) となるように埋込んだ。

試験水準を表－2 に示す。模擬ひび割れ幅の影響については、厚さ 0.3mm および 0.5mm のテフロンシートを使用し、2 水準とした。模擬ひび割れ深さの影響については、テフロンシートをコンクリート打設面からアンカー筋埋込み深さの 1/2 (36mm) およびアンカー筋埋込み深さの全長 (72mm) の位置まで埋込み、2 水準とした。また、引抜き試験は、反力板を使用しない非拘束試験および

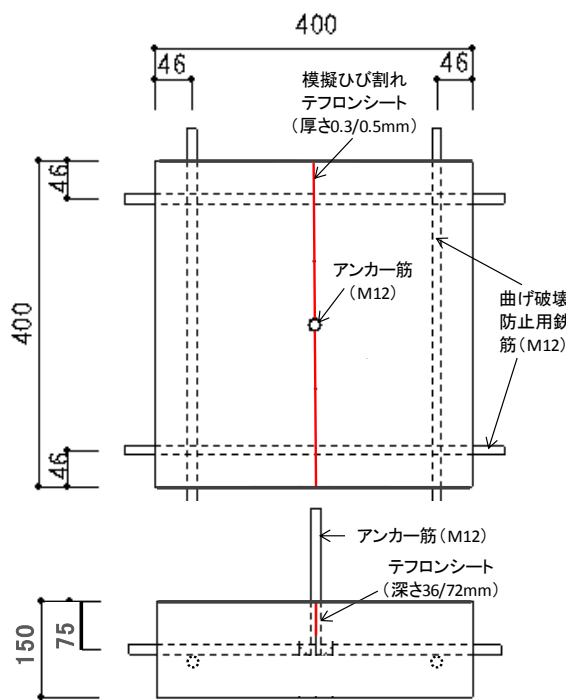
表－1 使用材料の物性

コンクリート		アンカー材		アンカー筋			アンカー筋埋込み深さ (mm)
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	降伏強度 (N/mm ²)	
30.2	30.5	63.6	23.1	M12	SNB7	725	72

*1 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所（正会員）

*2 千葉工業大学 工学部建築都市環境学科教授 博士（工学）（正会員）

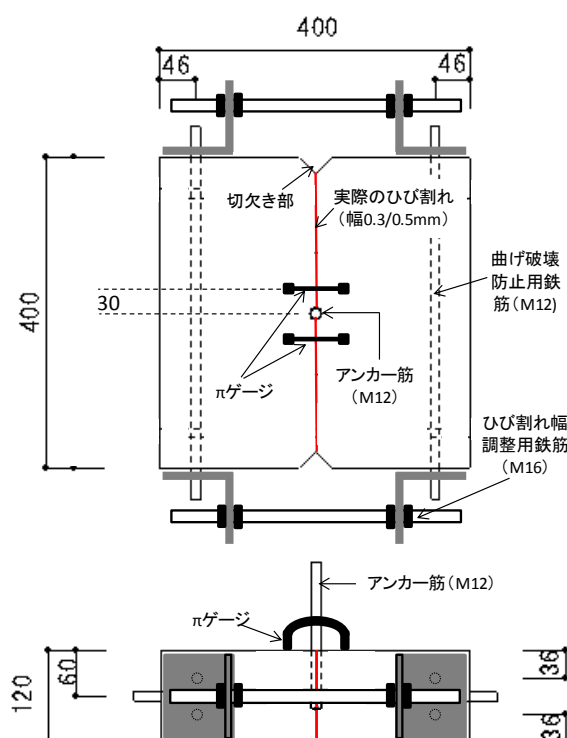
*3（独）都市再生機構 技術調査室（正会員）



図－１ 試験体形状（単位；mm）

表－２ 試験水準

No.	引抜き試験方法	シートによる模擬ひび割れ	
		シート厚さ (mm)	埋込み深さ (mm)
1-1	非拘束	0	0
1-2		0.3	36
1-3			72
1-4		0.5	36
1-5			72
2-1	拘束	0	0
2-2		0.3	72



図－２ 試験体形状（単位；mm）

表－３ 試験水準

No.	引抜き試験方法	ひび割れ導入時期	試験機によるひび割れ	
			ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ深さ (mm)
3-1	非拘束	—	0	0
3-2		アンカー施工前	0.3	120 (貫通)
3-3			0.5	
3-4		アンカー施工後	0.3	

反力板を使用する拘束試験の２水準とした。

２．３ 実際にひび割れを導入したモデル試験

検討に使用したコンクリートの形状を図－２に示す。試験体には、ひび割れの導入をしやすくするため、切欠き部を設けた。ひび割れの導入は、コンクリート曲げ強度試験の治具を用いて、耐圧試験機で試験体に亀裂を導入し、亀裂導入を目視で確認した後、πゲージを接着し、モニタリングしながら、ひび割れ幅を調整した。コンクリート試験体の穿孔およびアンカー施工は、テフロンシートを使用した模擬ひび割れによるモデル試験と同様である。

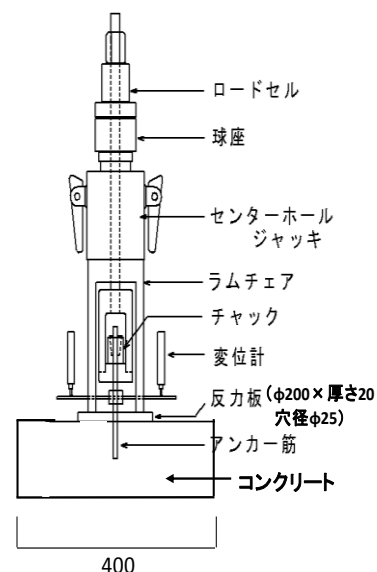
試験水準を表－３に示す。ひび割れの導入時期は、アンカー施工前とアンカー施工後の２水準とした。アンカー施工前にひび割れを導入した試験体は、ひび割れ幅 0.3mm および 0.5mm の２水準とし、アンカー施工後にひび割れを導入した試験体は、ひび割れ幅 0.3mm の１水準とした。ひび割れは、貫通ひび割れであり、ひび割れ深さは、試験体高さと同じ 120mm である。引抜き試験は、反力板を使用しない非拘束試験で実施した。

２．４ 引抜き試験

引抜き試験は、コンクリート試験体にアンカー施工後、

20℃の気中で７日間養生した後、図－３に示す試験装置を使用した。模擬ひび割れを導入したモデル試験では、テフロンシートを埋込んだ状態で試験を行った。非拘束

試験では、反力板を使用せず、φ25mm 穴の反力板を使用した。なお、引抜き試験は、１水準あたり５体としたが、ひび割れ導入が想定どおりにならなかった試験体 No.3-4 は、１水準あたり４体となった。



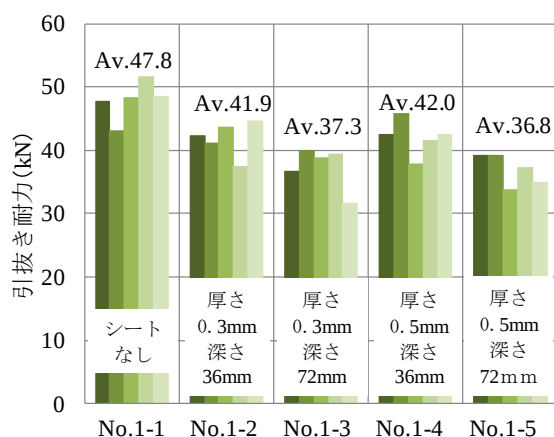
図－３ 引抜き試験装置（単位；mm）

3. 試験結果

3. 1 テフロンシートで模擬ひび割れを導入したモデル試験

引抜き試験結果を表－4に示す。テフロンシートで導入した模擬ひび割れのシート厚さと埋込み深さが引抜き耐力におよぼす影響を図－4に示す。非拘束試験の場合、テフロンシートを埋込んでいない試験体 No.1-1 の引抜き耐力は、平均 47.8kN であった。0.3 mm 厚さのシートを埋込んだ試験体の引抜き耐力は、埋込み深さ 36mm の試験体 No.1-2 は、平均 41.9kN、埋込み深さ 72mm の試験体 No.1-3 は、平均 37.3kN であった。0.5mm 厚さのシートを埋込んだ試験体の引抜き耐力は、埋込み深さ 36mm の試験体 No.1-4 は、平均 42.0kN、埋込み深さ 72mm の試験体 No.1-5 は、平均 36.8kN であった。この結果から、テフロンシートで模擬ひび割れを導入した場合、導入していない試験体に比べ、引抜き耐力は低下した。テフロンシートの厚さによる影響は、0.3mm および 0.5mm では、引抜き耐力に差は見られなかった。一方、シート埋込み深さが深いほど、引抜き耐力は低下することがわかった。

次に、引抜き耐力の低減率を図－5に示す。低減率は、



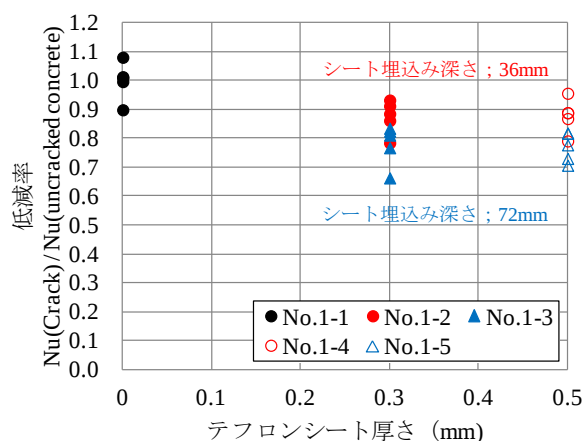
図－4 ひび割れを模擬したシートの厚さと埋込み深さが引抜き耐力におよぼす影響

躯体コンクリートにひび割れのないアンカーの引抜き耐力の平均値でひび割れのあるアンカーの引抜き耐力の平均値を除いた値である。埋込み深さ 36mm の低減率は、0.78～0.95 の範囲で平均 0.88 であった。埋込み深さ 72mm の低減率は、0.66～0.83 の範囲で平均 0.78 であった。

既往の研究では、0.3～0.5mm 幅のひび割れコンクリートに接着系あと施工アンカーボルトを使用した場合の低減率は 0.25～0.75、平均的には 0.5 程度とされている¹⁾。本試験で得られた低減率と差が生じた要因としては、ひび割れの導入方法の違い等が考えられる。

引抜き耐力－変位曲線を図－6に示す。ここでは、最大引抜き耐力が平均値に近い結果の一例を示した。また、同曲線中の変位 0～0.25mm 間の傾きを初期剛性として比較した。その結果、模擬ひび割れを導入した場合、導入なしの試験体に比べ、曲線の傾きが緩くなることから、初期剛性が小さくなる傾向が見られた。しかし、ひび割れを導入したにもかかわらず、曲線の傾きが急になった No.1-4 については、原因不明である。

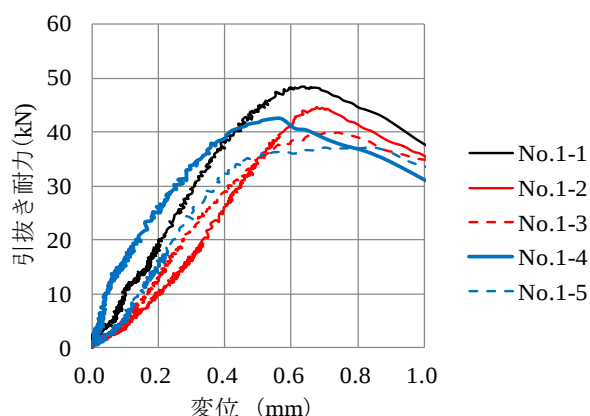
非拘束試験における引抜き試験後の破壊形状を写真－1に示す。模擬ひび割れを導入しない場合、円形の破壊形状となった。一方、テフロンシートを使用して模擬ひ



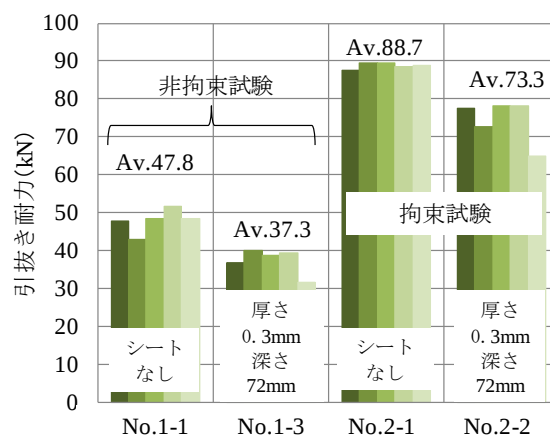
図－5 引抜き耐力の低減率

表－4 引抜き試験結果

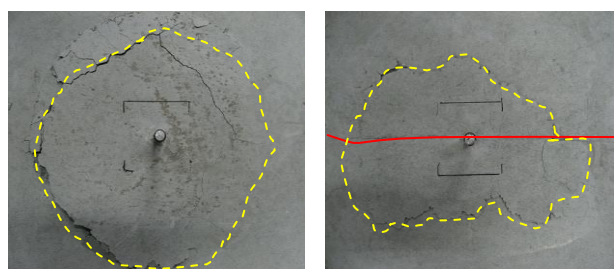
No.	引抜き試験方法	シートによる模擬ひび割れ		引抜き耐力平均 (kN)	低減率平均
		シート厚さ (mm)	埋込み深さ (mm)		
1-1	非拘束	0	0	47.8	1.00
1-2		0.3	36	41.9	0.88
1-3			72	37.3	0.78
1-4		0.5	36	42.0	0.88
1-5			72	36.8	0.77
2-1	拘束	0	0	88.7	1.00
2-2		0.3	72	73.3	0.83



図－6 引抜き耐力－変位曲線



図－7 引抜き試験方法が引抜き耐力に及ぼす影響

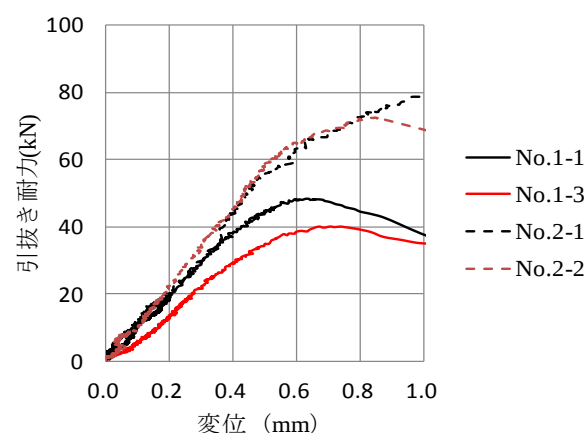


写真－1 非拘束試験での引抜き試験後の破壊形状
左；模擬ひび割れなし 右；模擬ひび割れ導入
(試験体 No. 1-1) (試験体 No. 1-2)

び割れ（写真－1 右 赤い線）を導入した場合、既往の研究と同様に模擬ひび割れに沿って広がり、楕円形の破壊形状となった³⁾。

次に引抜き試験方法が引抜き耐力に及ぼす影響を図－7に示す。模擬ひび割れを導入しない場合、非拘束試験の引抜き耐力は、平均 47.8kN であったのに対し、拘束試験の引抜き耐力は、平均 88.7kN であり、約 1.8 倍であった。また、テフロンシート厚さ 0.3mm、埋込み深さ 72mm の模擬ひび割れを導入した場合、非拘束試験の引抜き耐力は、平均 37.3kN であったのに対し、拘束試験では、平均 73.3kN であり、約 2 倍の引抜き耐力であった。最大耐力を比較した場合、非拘束試験と拘束試験では、破壊形状や躯体コンクリート、アンカー材の強度等により差が生じるが、引抜き耐力の低減率としては、非拘束試験では、平均 0.78、拘束試験では、平均 0.83 となり、大きな差は見られなかった。

引抜き試験方法の違いによる引抜き耐力と変位の関係を図－8に示す。ここでは、最大引抜き耐力が平均値に近い結果の一例を示した。非拘束試験では、模擬ひび割れを導入した場合、初期剛性は小さくなった。一方、拘束試験では、反力板（穴径φ25mm）を使用したため、模擬ひび割れの影響が小さくなり、模擬ひび割れの有無が初期剛性に及ぼす影響に差は見られなかった。



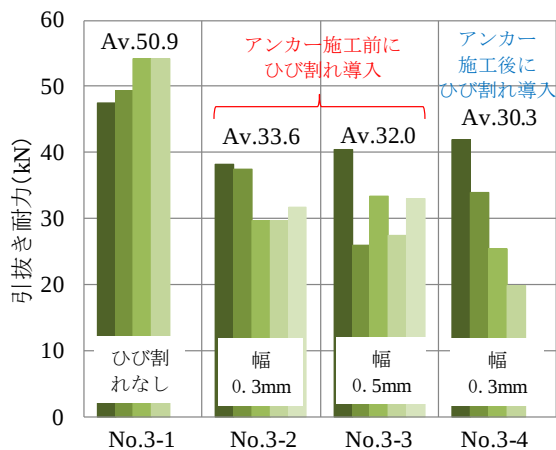
図－8 引抜き耐力－変位曲線

3. 2 実際にひび割れを導入したモデル試験

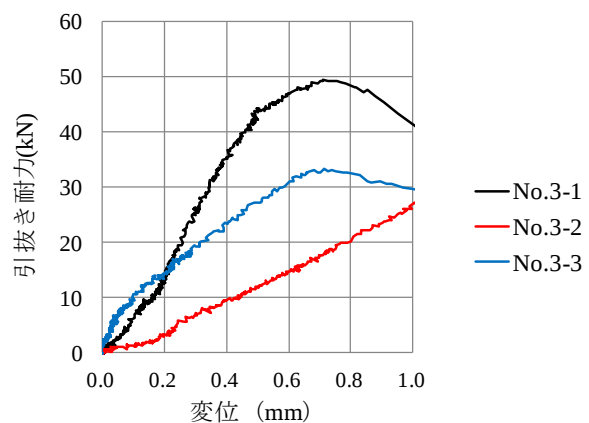
引抜き試験結果を表－5に示す。耐圧試験機を使用して実際にひび割れを導入した場合、ひび割れ幅が引抜き耐力に及ぼす影響を図－9に示す。引抜き試験は、非拘束で実施した。ひび割れがない試験体 No. 3-1 の引抜き耐力は、平均 50.9kN であった。アンカー施工前に 0.3mm のひび割れを導入した試験体 No. 3-2 の引抜き耐力は、平均 33.6kN であった。アンカー施工前に 0.5mm のひび割れを導入した No. 3-3 の引抜き耐力は、平均 32.0kN であったが、25.9～40.4kN とばらつきが大きく見られた。この結果から、テフロンシートで導入した模擬ひび割れと同様に、ひび割れがある場合、引抜き耐力は低下した。また、本試験では、ひび割れ幅が大きくなるにつれて、引抜き耐力のばらつきが大きくなった。その要因として、ひび割れ幅の調整方法が影響するものと考えられる。具体的には、 π ゲージを使用して試験体表面付近のひび割れ幅をターゲットとして調整したため、試験体内部のひび割れ幅の分布が一樣ではなかった可能性が考えられる。ひび割れ導入時期をアンカー施工前後で比較した結果、アンカー施工前にひび割れを導入した試験体 No. 3-2 の引抜き耐力は、平均 33.6kN となったのに対し、アンカー

表－５ 引抜き試験結果

No.	引抜き試験方法	ひび割れ導入時期	試験機よるひび割れ		引抜き耐力平均 (kN)	低減率平均
			ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ深さ (mm)		
3-1	非拘束	—	0	0	50.9	1.00
3-2		アンカー材 施工前	0.3	120 (貫通)	33.6	0.66
3-3			0.5		32.0	0.63
3-4		アンカー材 施工後	0.3		30.3	0.59



図－９ 実際に導入したひび割れが引抜き耐力におよぼす影響

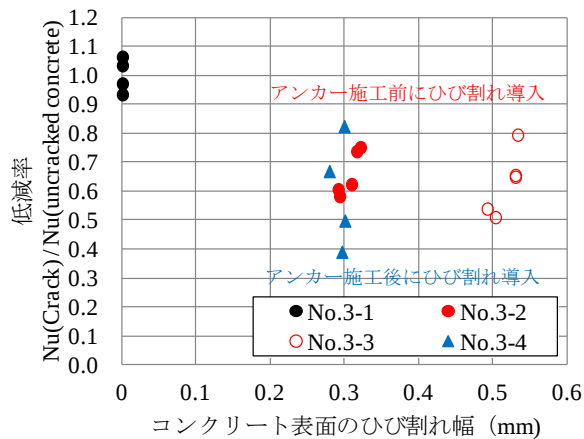


図－１１ 引抜き耐力－変位曲線

った要因として、アンカー材自体にひび割れが生じたこと、アンカー材とコンクリートの界面にひび割れが生じたこと、およびアンカー材とアンカー筋の界面にひび割れが生じたことが考えられる。いずれの場合もアンカーの引抜きに対して抵抗となる摩擦力(付着面積の減少等)の低下が考えられる。

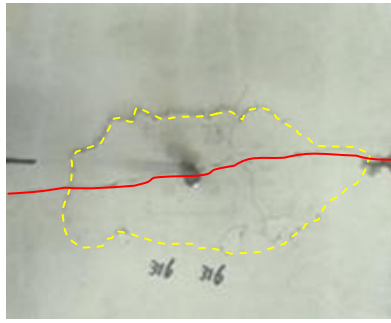
引抜き耐力と変位の関係を図－１１に示す。ここでは、最大耐力が平均値に近い結果の一例を示した。ひび割れのない試験体 No.3-1 に比べ、ひび割れ幅 0.3mm の試験体 No.3-2、ひび割れ幅 0.5mm の試験体 No.3-3 では、初期剛性が大きく低下することがわかった。

引抜き試験終了後の試験体の状況を写真－２、写真－３に示す。アンカー施工前にひび割れ幅 0.3mm を導入した試験体 No.3-2 (写真－２) は、テフロンシートで模擬ひび割れを導入した試験体と同様に、破壊面がひび割れに沿って広がり、楕円形の破壊形状となった。なお、引抜けたアンカー筋には、アンカー材とコンクリートが付着しており、この部分で引抜きに対する抵抗力を生じていたものと推測される。一方、アンカー施工後にひび割れを導入した試験体のうち耐力が最も低い No.3-4 (写真－３) では、破壊面がひび割れに沿った楕円形となったのは、片側のみであった。引抜けたアンカー筋には、コンクリートの付着は見られず、部分的にアンカー材が付着していることが確認できた。また、反対の割裂面には、

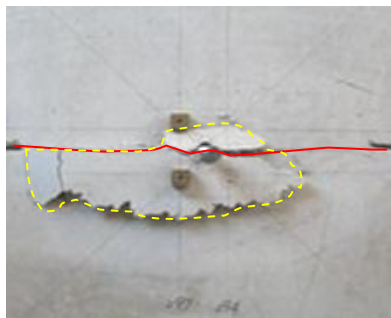


図－１０ 引抜き耐力の低減率

施工後にひび割れを導入した試験体 No.3-4 の引抜き耐力は、平均 30.3kN であったが、19.8～41.9kN とばらつきが大きい結果であった。引抜き耐力の低減率を図－１０に示す。アンカー施工前にひび割れを導入した試験体の低減率は、ひび割れ幅 0.3mm では、0.58～0.75 の範囲で、平均 0.66 であった。0.5mm では、0.51～0.79 の範囲で、平均 0.63 であった。一方、アンカー施工後にひび割れを導入した試験体の低減率は、ひび割れ幅 0.3mm では、0.39～0.82 の範囲で、平均 0.59 であった。アンカー施工後にひび割れを導入した場合、低減率のばらつきが大きくな



写真－２ 引抜き試験後の試験体の状況（ひび割れ先導入 幅 0.3mm 引抜き耐力 37.5kN）
左；試験体表面 中；ひび割れ割裂面① 右；ひび割れ割裂面②



写真－３ 引抜き試験後の試験体の状況（ひび割れ後導入 幅 0.3mm 引抜き耐力 19.8kN）
左；試験体表面 中；ひび割れ割裂面① 右；ひび割れ割裂面②

アンカー筋のネジ跡が残っていることが確認できた。これは、ひび割れを導入した際にアンカー材とアンカー筋の界面にひび割れが入ったものと考えられる。したがって、ひび割れを導入した時点で、引抜きに対して抵抗力が生じたのは、コンクリート片側の断面のみであったことが推測される。以上のことから、アンカー施工後にひび割れを導入する場合、アンカー筋周辺のどの位置にひび割れが入るかによって、引抜き耐力が大きく異なる可能性があると考えられる。

4. まとめ

超速硬セメント系注入式あと施工アンカーに関して、ひび割れのあるコンクリートが引抜き耐力に及ぼす影響について検討を行った結果、

テフロンシートで模擬したひび割れの影響について、

- (1) 模擬ひび割れを導入した試験体は、模擬ひび割れがない試験体に対し、引抜き耐力が低下した。ひび割れ幅の影響は、明確な差が見られなかった。ひび割れ深さの影響は、ひび割れ深さが深いほど、引抜き耐力、低減率が低下した。また、初期剛性に明確な違いはみられなかった。
- (2) 引抜き試験方法を比較した結果、非拘束試験、拘束試験とも模擬ひび割れを導入した試験体の引抜き耐力、低減率は、模擬ひび割れがない試験体に対し、低下した。低減率に差は見られなかった。

試験機で導入した実際のひび割れの影響について、

- (3) ひび割れを導入した試験体は、ひび割れがない試験体に対し、引抜き耐力、低減率が低下した。ひび割れ幅の影響は、明確な差が見られなかった。
- (4) ひび割れ導入時期をアンカー施工前後で比較した結果、アンカー施工後にひび割れを導入した場合、アンカー筋周辺のひび割れが生じる位置によって、引抜き耐力、低減率にばらつきが見られた。
- (5) テフロンシートで模擬ひび割れを導入した場合、実際にひび割れを導入した試験体に比べ、引抜き耐力、低減率を危険側に試算する可能性が高い。

以上のことから、あと施工アンカーの引抜き耐力の低減率を検討する場合、実際にひび割れを導入する方法をモデルとし、ひび割れ幅の調整法、ひび割れ位置の影響を考慮する必要があると考える。

参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010 改訂版，日本建築学会，pp.235，2010，11
- 2) Eligehausen.R, et al. : Guidance for testing laboratories : how to generate cracks, Testing Anchors in Cracked Concrete, Concrete International, pp.66-71, JULY.2004
- 3) 稲田扶，滝口克己：コンクリートに埋め込まれたボルトの引抜き耐力にひび割れが及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.721-722，1994.9