

テーパ型ナットを PC 鋼棒定着体としたあと施工アンカー工法の破壊モードに関する一考察

JR 東日本コンサルタンツ (株) 正会員 ○小林 薫

JR 東日本 (株) 正会員 鈴木 雄大・平林 雅也・伊藤 隼人

サンコーテクノ (株) エンジニアリング本部 正会員 藤井 保也・今井 清史

1. はじめに 著者らは、アンカー筋に PC 鋼棒を使用し、PC 鋼棒先端にテーパ型ナットを取付けて先端定着体とするあと施工アンカー工法を考案し、実用化に向けた検討¹⁾(図1~3)を行ってきた。これまでの検討結果から、PC 鋼棒直径の20倍の定着長で、C種1号(SBPR1080/1230)規格のPC 鋼棒が破断する結果(図3)を得た。本報告では、先端定着部の要素実験を基本に本提案工法の破壊モード判定法の検討を行ったものである。

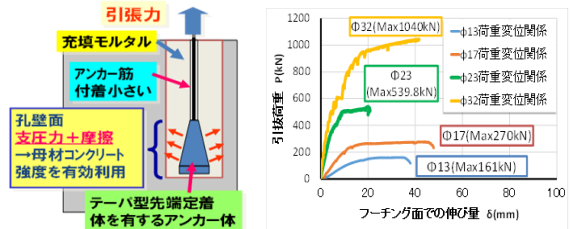


図1 提案工法の概要 図3 引張試験結果



図2 テーパナットアンカー筋の外観

2. 提案工法の想定破壊モード 本工法では、以下に示す3つの破壊モードが存在すると考えた。

- (1) 充填モルタルと母材コンクリート界面で全体が抜出る接合面破壊²⁾(接合面破壊モード)
- (2) テーパ型定着体周辺の充填モルタル、あるいは母材コンクリートの局所破壊(テーパ型先端定着体周辺の破壊モード)
- (3) アンカー筋破断に伴う破壊(アンカー筋破壊モード)

表1 先端定着体要素試験諸元表・実験結果

試験体 No	テーパ形状			試験項目	コンクリートブロック寸法 (mm)	充填モルタル強度 (N/mm ²)	穿孔径φ (mm)	定着長 (mm)	最大荷重 Pmax (kN)	備考
	底部径 D (mm)	先端部径 d (mm)	高さ H (mm)							
H/D=1.0	26	20	6.59	押込試験	600 × 650 × 350	35.5	38	100	179	
H/D=1.5	39	4.40	193							
H/D=2.0	52	3.30	237							
H/D=3.0	78	2.20	487						載荷器具	
H/D=4.0	104	1.65	477						載荷器具	
			65.6							

2.1 接合面破壊モードの判定方法の検討 著者らによる検討¹⁾において、コンクリート孔壁と充填モルタルとの付着強度確認試験から、コア削孔し、孔壁を水塗布処理した場合、付着強度は概ね 10N/mm²となる。この値から、本提案工法の必要定着長が算定できる。通常は、定着長をアンカー筋直径の20倍で、C種1号のPC 鋼棒(SBPR1080/1230)が破断となり、接合面破壊とはならない。

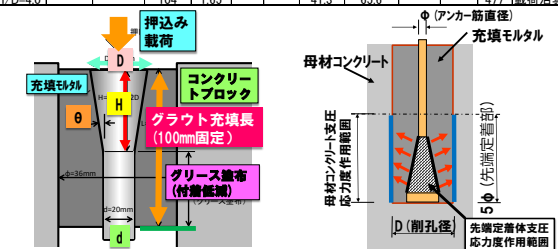


図4 要素試験の概要 図5 支圧応力度の検討位置

2.2 テーパ型先端定着体周辺の破壊モードの判定方法の検討 テーパ型先端定着体周辺には、円周状のクラックやこれに直交するクラックが発生する。テーパ型先端定着体周辺での耐荷性状を確認するため、先端定着体周辺を模擬した要素試験を行い、先端定着体周辺破壊モードに応じた定着強度評価法の検討を行った。

(1) 要素試験体概要 表1に、試験体諸元、実験結果を示す。図4に、要素試験の状況を示す。要素試験体のテーパ角度(θ)は1.7~6.6度で変化させた。試験体は、600mm×600mm×350mmのコンクリートブロック中央にφ38の削孔を行い要素試験体をセットし、グラウト充填範囲を100mmとした。先端定着体のテーパ面から充填グラウトに支圧応力が作用し、母材コンクリートへはある分布幅で伝達すると想定されるが、正確な分布幅の推定が困難なため、今回は丸鋼直径の5倍の区間を先端定着部として設定した。(図5参照)

(2) 試験結果および考察 図6に、H/D=2.0の実験結果として、荷重変位曲線を示す。荷重変位関係の特徴として、テーパ型定着部の鉛直変位が若干増加すると載荷荷重が低下するが、すぐに回復する。荷重の低下、回復を繰り返しながら載荷荷重が増加する挙動を示す。H/D=3.0と4.0の試験体は、載荷荷重が480kN程度時に載

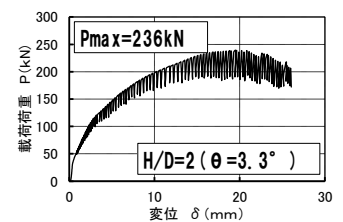


図6 先端定着体要素試験時の荷重変位関係(H/D=2)

荷治具が座屈したため、終局強度を確認できなかった。

(3) テーパ型先端定着体周辺強度による破壊モードの検討 先端定着体周辺破壊は、先端定着体からの支圧応力が作用する充填モルタル、あるいは母材コンクリートに発生すると仮定した。母材コンクリートの支圧応力度は、作用最大荷重を支圧面積（削孔周長×アンカー筋直径の5倍の長さ）で除して求めた。

要素試験結果は、テーパ部の角度（ θ ）と支圧応力度と充填モルタルの引張強度⁴⁾との比、あるいは母材コンクリートの支圧応力度と母材コンクリート引張強度⁴⁾との比（以下「引張応力比」という）でそれぞれ整理した。引張応力比は、ひび割れ発生の度合いを表すため指標とした。図7、図8に検討結果を示す。図中の曲線は、指数関数で近似式を求めた結果である。近似式を式(1)、式(2)に示す。なお、近似式の作成には、荷治具が変形したH/D=3,4の実験結果は用いていない。図7、図8には、本提案工法での引張試験結果として、PC鋼棒が破断程度の場合、低強度コンクリート（ $f'_{ck}=14.5, 16.9\text{N/mm}^2$ ）の場合も参考としてプロットした。この結果と近似式を比較すると、近似式が先端定着部の引張強度を安全側に評価している。以上の検討結果から、テーパ型先端定着体周辺強度は、式(1)と式(2)から求まる値の小さい値（式(3)）で推定してよいと考えられる。先端定着体周辺破壊モードは、先端定着体周辺強度が他のモードの強度より一番小さな値を示した場合に発生する。

$$\cdot \text{充填モルタル} : P_{max1} = 9.890e^{0.1314\theta} \cdot \sigma_{tk} \cdot A_{mor} \quad \dots (1)$$

$$\cdot \text{母材コンクリート} : P_{max2} = 9.935e^{-0.081\theta} \cdot f_{tk} \cdot A_{con} \quad \dots (2)$$

$$\cdot \text{先端定着体周辺部の最大強度} : P_{max} = \min(\text{式(1)}, \text{式(2)}) \quad \dots (3)$$

ただし、 $\theta=1.7\sim 6.6$ 度、 $\sigma_{ck}=66\sim 73\text{N/mm}^2$ 、 $f'_{ck}=35\sim 42\text{N/mm}^2$

ここに、 P_{max} ：先端定着部強度（kN） A_{mor} ：支圧応力が作用する充填モルタルの面積（ mm^2 ） A_{con} ：支圧応力が作用する母材コンクリートの面積（ mm^2 ） σ_{tk} ：充填モルタルの引張強度（ $=0.23\sigma_{ck}^{2/3}$ ）（ N/mm^2 ）⁴⁾ f_{tk} ：母材コンクリートの引張強度（ $=0.23f'_{ck}^{2/3}$ ）（ N/mm^2 ）⁴⁾ σ_{ck} ：充填モルタルの圧縮強度（ N/mm^2 ） f'_{ck} ：母材コンクリート圧縮強度（ N/mm^2 ） θ ：先端定着体テーパ角度（度）

2.3 アンカー筋破断に伴う破壊モードの判定法の検討 アンカー筋破断の破壊モードは、アンカー筋の引張強度（破断強度）より、充填モルタルと母材コンクリート接合面強度、先端定着部周辺強度が大きい場合に発生する。アンカー筋破壊モードは、アンカー筋の引張強度を十分に活用でき、安定した破壊形態なので、本提案工法ではアンカー筋破壊モードの設計が望ましいと考える。

4. まとめ 本提案工法では、3つの破壊モードを仮定し、それぞれの判定法を示した。以下に概要を示す。

i) 接合面破壊モードは、母材コンクリート削孔面に水塗布処理した場合の付着強度を 10N/mm^2 として定着長を算定してよい。通常は、PC鋼棒直径の20倍の定着長で、PC鋼棒破断の破壊モードとなる。

ii) テーパ型定着体周辺破壊モードは、要素試験から求めた式(3)で先端定着強度を定めてよい。

iii) アンカー筋破壊モードは、接合面強度、先端定着部強度がアンカー筋の引張強度を上回っていれば、アンカー筋破壊モードとなる。

参考文献

- 1) 小林 薫, 鈴木雄大, 平林 雅也, 伊藤 隼人：テーパ型ナットをPC鋼棒定着体としたあと施工アンカー工法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 2, 2016. 7
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説, 2010.11
- 3) 東日本旅客鉄道株式会社：あと施工アンカー設計マニュアル, 2004年12月
- 4) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同開設（コンクリート構造物）, 丸善, 2004.4

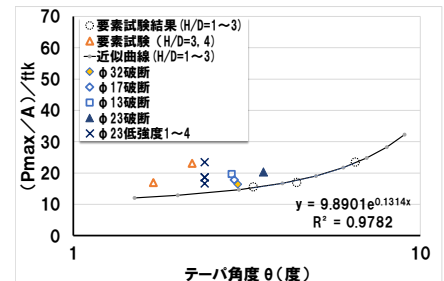


図7 テーパ角度（ θ ）と充填モルタルでの引張応力比の関係

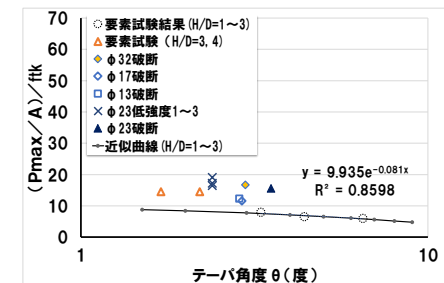


図8 テーパ角度（ θ ）と母材コンクリートでの引張応力比の関係