

[98] 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

村 松 和 仁 (ショーボンド建設 土木技術研究所)

正会員 〇 宗 栄 一 (ショーボンド建設 土木技術研究所)

1. まえがき

既設の鉄筋コンクリート構造物等にあつて施工として、鉄筋やアンカーボルトを定着する場合に、最近では樹脂を用いる樹脂アンカーが多く使用されている。例えば、耐震補強としての耐震壁増設のダボ筋、橋梁の落橋防止装置のアンカー鉄筋、外壁パネルのファスナーおよび機械等の据付けとその用途は様々である。これは、樹脂アンカーがあつて施工なので施工精度が良く、樹脂材料の特徴である短期強度の発現性が優れているからである。しかしながら、樹脂アンカーとして使用する際の耐力算定式は簡略的に鉄筋の付着強度による場合が多い。この方法で行うと、埋込長が深くなって施工性が悪くなり、不経済になりやすい。

そこで、本研究は埋込長、ボアホール径、コンクリートの圧縮強度および鉄筋の形状の組合せにより、静的な引張試験を行つて、その破壊状況等から樹脂アンカーの定着耐力に関する算定式を提案するものである¹⁾。さらに、施工中に考えられる水、コンクリート粉末の混入および熱や材令等の影響についても実験的に調べてみたものである。

2. 実験内容

2-1 概要 シリーズ1では、表-1に示す実験条件の組合せによって、一方向の静的単引張試験を行い、樹脂アンカーの定着耐力に関する算定式を誘導する。シリーズ2では、表-2に示す条件で、樹脂アンカーに種々の影響要因を与えて、その影響程度を荷重-鉄筋抜け出し量で調べる。コンクリートはレデ-ミクストコンクリートを使用し、試験後ごとに圧縮試験を行う。ボアホールの穿孔には、ジャックハンマー又はハンマードリルを使用する。鉄筋は、D25 (SD35; M27のハイテンションボルトを溶接)、φ25 (SR24, SUP第9種) および M16 の全ネジボルト (PC鋼棒A種1号) を用いる。樹脂はエポキシ樹脂 (カプセルタイプ) を使用する。

2-2 載荷方法 図-1に示すように、コンクリートの圧縮拘束を除く方法で行う。

2-3 測定方法 荷重の検出はロードセルを用いて、鉄筋の抜け出し量はダイナミックアンプを介して、連続的にX-Yレコーダにより自動記録を行う。最大耐力後、その破壊状況を目視にて観察する。

3. 実験結果と考察 表-3, 4および5に樹脂の諸物性、シリーズ1および2の結果を示した。

3-1 埋込長および鉄筋形状と耐力 図-2に示したように、丸鋼 (SR24) を除けば埋込長と耐

表-1 シリーズ1の試験条件

埋込長: l (cm)	10, 4d, 15, 6d, 20, 8d, 25, 10d, 30, 12d
ボアホール径: D (cm)	2.8, 1.12d, 3.2, 1.28d, 3.6, 1.44d, 4.0, 1.6d
コンクリート強度: σ_{ck} (kgf/cm ²)	150, 210, 270, 300
鉄筋(径): d (cm)	異形D25 (SD35), 丸鋼φ25 (SR24, SUP第9種)
樹脂	エポキシ樹脂 (カプセルタイプ)
施工方法	標準施工

表-2 シリーズ2の試験条件

埋込長: l (cm)	13 (8d)
ボアホール径: D (cm)	2.4 (1.5d)
コンクリート強度: σ_{ck} (kgf/cm ²)	300
鉄筋(径): d (cm)	全ネジボルト M16 (PC鋼棒A種1号を加工)
樹脂	エポキシ樹脂 (カプセルタイプ)
施工方法	標準、水10%混入、コンクリート粉4.5G混入、300℃30分加熱

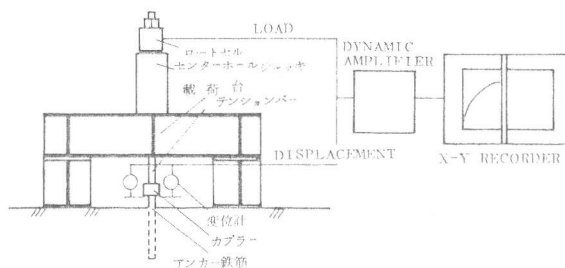


図-1 載荷(測定)方法

表-3 エポキシ樹脂の材料特性

項 目	試 験 方 法	試 験 値
比重	JIS K7112	1.24
圧縮降伏強度 (kgf/cm ²)	JIS K7208	7.24
圧縮弾性係数 (kgf/cm ²)	JIS K7208	2.96×10^4
曲 げ 強 度 (kgf/cm ²)	JIS K7203	57.5
引 張 強 度 (kgf/cm ²)	JIS K7113	291
引張剪断強度 (kgf/cm ²)	JIS K6850	24.5

力には高い相関性が確認された。丸鋼 (SR24) の耐力が埋込長 20 cm (8 d) で一定値を示している。この値は、丸鋼 (SR24) の降伏点荷重であることから、丸鋼を用いた場合の耐力は降伏点荷重が最大耐力となることが示された。

3-2 ボアホール径と耐力 図-3 に示したように、ボアホール径と耐力にも相関性が確認された。これは、後述する破壊形状から樹脂アンカーはボアホール径が一般の場合の鉄筋径に相当して抵抗していることが確認された。この実験では、ボアホール径 40 mm (1.6 d) までしか行っていないが、樹脂を用いる場合、樹脂の弾性係数を考慮すると樹脂厚はできる限り薄い方が効果的である²⁾。しかしながら、施工性の面と経済性の面から最適なボアホール径は鉄筋径の 1.5 倍 (1.5 d) 以内が良いと判断された。

3-3 コンクリート強度と耐力 図-4 に示したように、コンクリート強度と耐力にも相関性が認められた。樹脂アンカーは、後述する破壊状況 (コンクリートの斜め引張り破壊とボアホール内面のコンクリートのせん断破壊) から、コンクリート強度に依存していることが明らかになった。また、埋込長 10 cm (4 d) 以下の場合にはコンクリートの斜め引張り破壊のみとなる。このことを利用すれば、コンクリートの強度を樹脂アンカーの耐力から推定することが可能であると思われる。

3-4 破壊状況 破壊状況は、図-5 に示したように 3 タイプに大別することができた。

A タイプ：埋込長 20 cm (8 d) 以上の丸鋼 (SR24) の場合で、一般の丸鋼の引抜き試験でみられるもので付着が失われて鉄筋がそのまま抜け出してきたものである。

B タイプ：埋込長 10 cm (4 d) のすべての異形鉄筋および丸鋼の場合で、埋込まれた鉄筋の先端から傘を開いたような形状でコンクリートが斜め引張り破壊したものである。

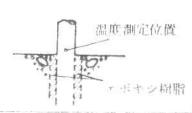
C タイプ：埋込長 15 cm (6 d) 以上の異形鉄筋と丸鋼 (SUP 第 9 種) の場合で、コンクリートの斜め引張り破壊とボアホール内面のコンクリートのせん断破壊の複合したものである。

また、傘の角度は全供試体を実測した結果、 $\theta = 54^\circ$ (平均 9.5 度信頼限界 $52^\circ \leq \mu \leq 56^\circ$) であった。

表-4 シリーズ1の結果一覧表

埋込長 L (cm)	ボアホール径 D (cm)	コンクリート強度 $\sigma_c (\bar{\sigma}_{ck})$ (kgf/cm ²)	破壊耐力 P (tonf)			備 考
			異形 SD35	丸 SR24	SUP第9種	
10	3.2	247 (240)	6.57	6.83	—	
15	2.8		14.00	15.00	—	
20	3.2	196 (150)	19.52	—	—	
		247 (240)	22.70	17.60	22.10	
		292 (270)	23.00	—	—	
		329 (300)	26.10	—	—	
	3.6	247 (240)	24.10	—	—	
	4.0		26.30	—	—	
25	3.2	247 (240)	30.30	—	—	
30	3.2		—	17.46	39.00	

表-5 シリーズ2の結果一覧表

施工および試験条件	破壊耐力 (tonf)	備 考
1. 標準	12.8	・1~4の寸法は5日
2. コンクリート粉末50%混入	13.1	・温度測定位置 (CA熱電対使用)
3. 水100%混入	7.9	
4. 300℃で30分間加熱	12.8	
5. 寸 法 3ヶ月	15.2	

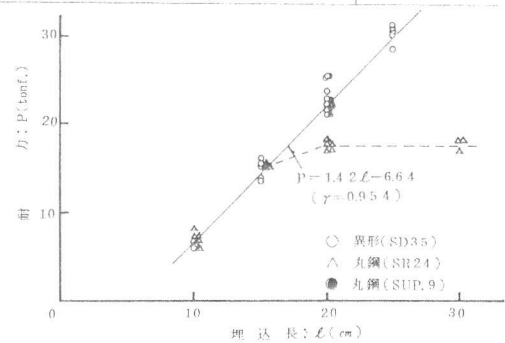


図-2 埋込長と耐力

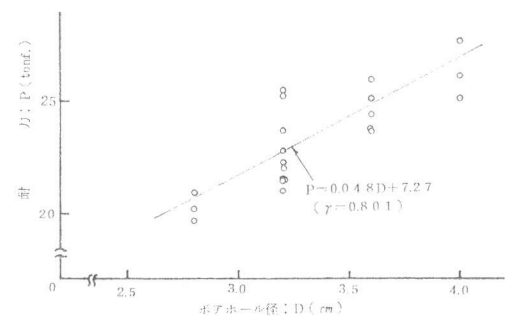


図-3 ボアホール径と耐力

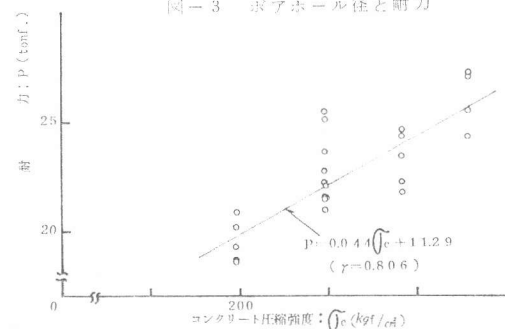


図-4 コンクリート圧縮強度と耐力

写真-1に破壊したコンクリートのひびわれ状況を示した。これは、異形鉄筋に引張力が働いた場合に生じるひびわれと同様のものである。

3-5 耐力算定式の誘導 破壊形状等から、丸鋼の耐力は埋込長が8d以上の場合は埋込長、ボアホール径およびコンクリート強度等には関係なく、丸鋼の降伏点耐力となる。これは、降伏点に達すると鉄筋が伸びて細くなり、樹脂の変形（追随）能力の限界の時点で鉄筋と樹脂との付着が失なわれるためであると思われる。しかしながら、異形鉄筋および全ネジボルトの場合は、付着が失なわれても、機械的に定着によって降伏点に達した後も安定した挙動を示している。そこで、異形鉄筋および全ネジボルトの耐力算定式を誘導するために、シリーズ1のD25(SD35)の各要素に対しての相関性等を用いて、破壊形状を図-6のようにモデル化して、さらに、次の仮定を設定した。

仮定1：破壊は、コンクリートの斜め引張り破壊とせん断破壊の複合であるとする。

仮定2：ただし、埋込長が10cm(4d)以内の場合はコンクリートの斜め引張り破壊のみとして、その破壊耐力を $P = 6570 \text{ kg f}$ （実験値平均）とする。

仮定3：埋込長が10cm(4d)以上の場合の破壊耐力の増加は、すべてせん断破壊区間に依存するものとする。

この仮定によって、樹脂アンカーの破壊耐力算定式は、次式で表わすことができる。

$$P = 1.701 \pi x (1.376x + D) \tau_s + \pi D (\ell - x) \tau_c \quad (1)$$

ここに、右辺の第一項はコンクリートの斜め引張り破壊区間の傘の表面積、第二項はコンクリートのせん断破壊区間の表面積を表わす。 P ：樹脂アンカーの破壊耐力(kgf)， x ：コンクリートの斜め引張り破壊区間(cm)， D ：コンクリートのせん断破壊区間の直径〔ボアホール径〕(cm)， ℓ ：埋込長(cm)， τ_s ：コンクリートの平均斜め引張強度(kgf/cm²)， τ_c ：コンクリートの平均せん断強度(kgf/cm²)

最初に、各測定値の埋込長と破壊耐力の関係からコンクリートのせん断破壊区間のコンクリートの平均せん断強度： τ_c を求める。 τ_c ：次式で表わすことができる。

$$\tau_c = \frac{P - 6570}{\pi D (\ell - x)} \quad (2)$$

(1)式から、全測定値について τ_c を求めてその平均値を算出する。さらに、その値と各コンクリートの圧縮強度 σ_c との関係を調べると、 $\tau_c = 0.5 \sigma_c$ で表わすことができた。次に、(1)式から最小破壊耐力時の x を算出して整理すると、次式のようになる。

$$x = \{ 0.2136 (\tau_c / \tau_s) - 0.3634 \} D \quad (3)$$

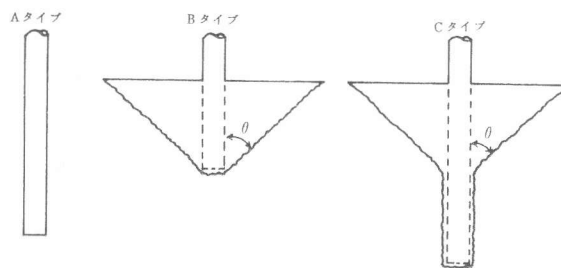


図-5 破壊状況



写真-1 破壊（ひびわれ）状況

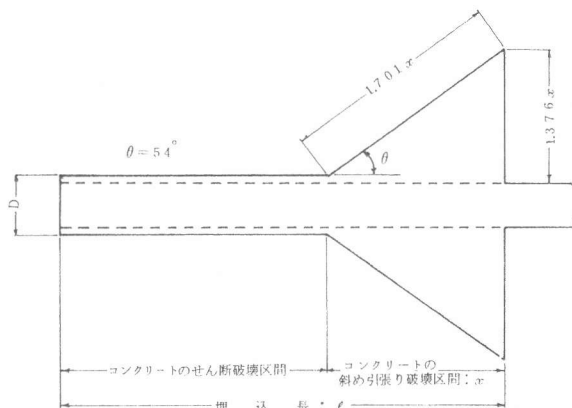


図-6 破壊形状のモデル化

(3) 式を(1)式に代入して、 τ_s について整理すると次式のようなになる。

$$\tau_s = \frac{-\{P - \pi D^2 c(\ell/D + 0.36)\} - \sqrt{\{P - \pi D^2 c(\ell/D + 0.36)\}^2 - 0.13\pi^2 D^4 \tau_c^2}}{0.62\pi D^2} \quad (4)$$

(4) 式に(2)式で求めた $\tau_c = 0.5 \theta$ を代入して、全測定値について τ_s を計算すると、 $\tau_s = 0.58\sqrt{\tau_c}$ で表わすことができた。

以上を整理すると、樹脂アンカーの破壊耐力は埋込長、ボアホール径およびコンクリートの圧縮強度をパラメータにして、次式のように表わすことができた。

$$P = \pi D^2 \theta_c \{0.5 \ell/D - \sqrt{\theta_c} (0.046 + 0.1792/\theta_c) + 0.1819\} \quad (5)$$

この樹脂アンカーの破壊耐力算定式で求めた値と、今回の実験値との変動係数は 1.16 であった。

3-6 樹脂アンカーに与える影響要因 樹脂ア

ンカーを施工する際に現場等で考えられる事柄として、水またはボアホール穿孔時に生じたコンクリート粉末が混入した場合、さし筋として用いた時などの溶接による熱の影響および材令による耐力の変化を荷重と鉄筋の抜け出し量で図-7、8に示した。エポキシ樹脂アンカーは、上記の条件の場合、水が混入したものを除けば耐力、鉄筋の抜け出し量は通常の施工をしたものと同等の挙動を示し、材令によっては耐力が上昇する傾向があることが明らかになった。水の混入によって耐力が低下する原因は、次のことが考えられる。

(1) 硬化剤内の成分の一部が水に溶けるため、エポキシ樹脂の硬化反応が阻害される。

(2) ボアホール内面（コンクリート面）に水の層が形成されるため、エポキシ樹脂とコンクリートのぬれ効果が悪くなる。

また、材令による耐力上昇についてはコンクリート強度の変化は少ないこと、さらに破壊状況からコンクリートのせん断破壊区間で樹脂強度が増加したことが考えられる。

4. 結論

樹脂アンカーの引張り強さに関する実験を行った結果、

- (1) 樹脂アンカーの破壊耐力は埋込長、ボアホール径およびコンクリートの圧縮強度の関数として求められる。
- (2) 樹脂アンカーは一般の鉄筋の付着状態と違い、コンクリートの斜め引張り区間とボアホール径が鉄筋径に相当して抵抗するせん断区間に分けることができる。
- (3) 丸鋼をアンカー鉄筋として使用した場合は、(1)に関係なく降伏点に達すると鉄筋が伸びて細くなり、樹脂の変形（追随）能力の限界になり、鉄筋と樹脂との付着が失われることによって破壊となる。すなわち、P C 鋼棒等の高強度（降伏点と異形鉄筋の引張強さが同等）の丸鋼を用いれば、結論(1)がいえる。
- (4) 樹脂アンカーに与える影響要因としては、水が混入した場合を除けば、コンクリート粉末の混入や熱による悪影響は認められず材令によって破壊耐力が上昇する傾向がある。

ことが判明した。

<参考文献> 1) 高橋久衛, 宗 栄一「樹脂による鉄筋定着に関する実験的研究」土木学会第37回年次学術講演会講演概要集 昭和57年10月

2) 高橋久衛, 佐藤直昭, 吉永通郎, 佐々木一人「鉄筋コンクリート部材のエポキシ樹脂厚さ変化による鋼板接合補強効果」第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1983年6月

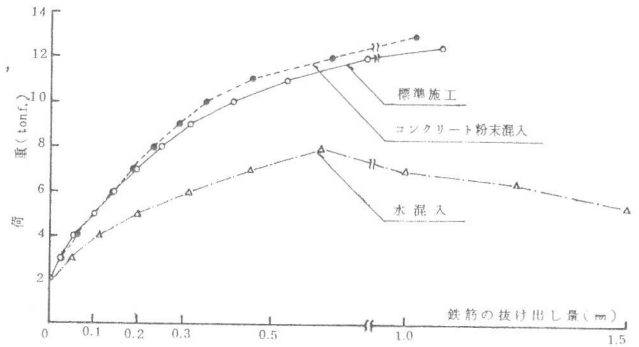


図-7 荷重-鉄筋の抜け出し量の関係（水およびコンクリート粉末混入の影響）

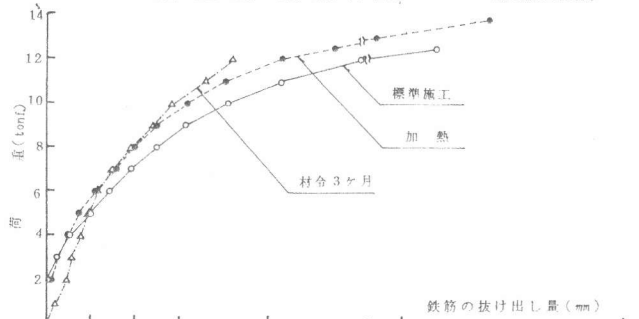


図-8 荷重-鉄筋の抜け出し量の関係（加熱および材令の影響）