

I-270 付着型アンカーボルトの定着機構について

名古屋高速道路公社 正員○前野裕文, 住友金属 正員 小林洋一
名古屋工業大学 正員 後藤芳顕, 小畑 誠, 松浦 聖

1. はじめに：高架式道路橋を支持する鋼製橋脚には通常アンカーフレーム形式の定着構造が用いられるが、これによると、定着部が大型化し、限られた都市空間ではフーチング形状の大型化ならびに輸送、架設上の問題が生ずることが少なくない。このような従来構造の問題点を解決するために、著者等はスタッドを併用した太径異形棒鋼を付着型のアンカーボルトとして直接用いアンカーフレームを省略する新しい直接定着方式を考案し、その付着特性などの基本的な力学的性質をすでに明らかにしてきた¹⁾。(図.1)

このような異形棒鋼を用いた付着型アンカーボルトの設計法を確立するには、さらに定着構造としてのメカニズムを明らかにする必要がある。通常の頭付きアンカーボルトでは、アンカーボルト自体が十分な強度を保有している場合、アンカー部はコンクリートのコーン破壊により崩壊することは周知である。しかしながら、付着型アンカーボルトでは付着破壊とコーン破壊、およびこの両者が連成することが考えられ、本構造の設計では、このような破壊形式を念頭におく必要がある。ここではこの破壊機構解析のためのモデルを設定し定着特性を考察し、さらにその妥当性を実験により検証する。

2. 付着型アンカーボルトの耐荷機構の解析

定着板を用いた通常のアンカーボルトと異なり付着型アンカーボルトの破壊形式として可能なものは付着破壊とコーン破壊、およびこの両者が連成したものが考えられる。これらの破壊機構を解析するために、著者等による実験結果¹⁾ならびに、従来の知見^{2) 3)}をもとに、破壊時において次のような仮定を導入する。(図.2)

- ①アンカーボルト深さ方向の付着応力は一様分布。
- ②コーン破壊線は45°。
- ③破壊形式として付着破壊とコーン破壊とが連成する場合、コーン破壊がぜい性的な破壊であることを考慮して、耐力算定時にこれら両者の強度は累加できない。

コーン破壊強度を σ_{con} とし破壊がフーチング上面から深さ x のアンカーボルト表面を起点に45°で生ずるものとする、コーン破壊部分の強度は次式で与えられる。

$$P_{con}(x) = \sigma_{con} \pi \{ (x + d/2)^2 - (d/2)^2 \} \quad (1)$$

一方、コーン破壊時の付着応力を τ とすると、深さ x までの付着力の和 $p_{bond}(x)$ は次のように表され、これはつり合いより、 $p_{con}(x)$ と等しい。

$$p_{bond}(x) = \tau \pi d(x-u) = p_{con}(x), \quad \tau \leq \tau_b \quad (2a, b)$$

ここに、 d ；アンカーボルトの公称径、 τ_b ；付着強度、 u ；アンカーボルト長。式(2)よりコーン破壊が生ずる時の荷重 P_{con} は

$$P_{con} = p_{bond}(\ell) = \tau \pi d(\ell - u) \quad (3)$$

となり、 τ は式(2a, b)を満足する最小値として与えられる。

図3に示す $p_{bond}(x)$ 、 $p_{con}(x)$ と x との関係からわかるように、 τ が最小となるのは一般に直線 $p_{bond}(x)$ が、2次曲線 $p_{con}(x)$ に接する場合に相当する。この接点の x 座標 x_0 がコーン破壊発生点となる。以上から、 P_{con} 、 x_0 は

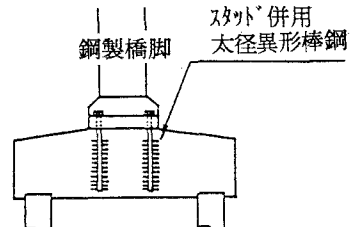


図1 直接定着方式

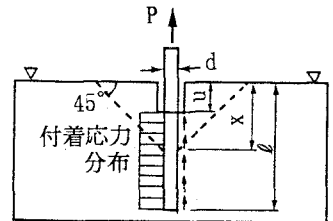


図2 破壊機構のモデル化

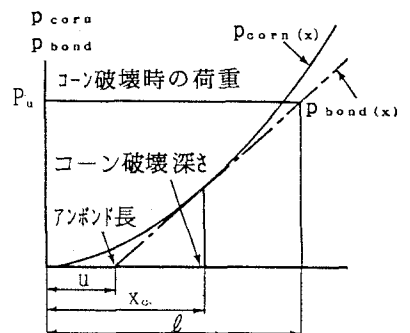


図3 コーン破壊と付着破壊

$P_{c.o.r.n} = \sigma_{c.o.r.n} \pi d^2 \{1 + 2(\mu + \sqrt{\mu^2 + \mu})\} (\ell/d - \mu) \quad (4), x_c/d = \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \quad (5), \mu = u/d \quad (6)$
但し、式(2b)とコーン破壊発生点がアンカーボルト埋め込み部にあることより、式(4)、(5)が成立するためには次の制約条件がある。

$$\mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \leq (\tau_b / \sigma_{c.o.r.n} - 1)/2, \quad \text{かつ} \quad \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \leq \ell/d \quad (7a, b)$$

このようなコーン破壊が生ずる場合、いまだコーン破壊面以下のアンカーボルト埋め込み部が耐力を持っており、この耐力が $P_{c.o.r.n}$ より小さい場合に $P_{c.o.r.n}$ がアンカーボルト耐力 P_u に等しくなる。コーン破壊面以下の耐力は x_c をアンボンド長 u と考えることにより上記と同様の手順で解析できる。

式(7a)を満足しない場合、即ち式(2b)が成立しない場合には、コーン破壊する前に付着応力が付着強度に到達し、付着破壊することを意味している。したがってアンカーボルトの耐力は

$$P_u = \tau_b \pi d^2 (\ell/d - \mu) \quad (8) \quad \text{但し} \quad (\tau_b / \sigma_{c.o.r.n} - 1)/2 \leq \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \leq \ell/d \quad (9)$$

(7b)を満足しない場合は、図2の接点が ℓ より深い位置に存在することを意味しており、計算上の前提に矛盾があることを示している。この場合には式(3)の τ が最小となるのは、直線 $p_{b.o.n.d}(x)$ と2次曲線 $p_{c.o.r.n}(x)$ が $x = \ell$ で交点を持つ場合である。このときコーン破壊の発生する荷重 $P_{c.o.r.n}$ は P_u と一致し、次のようになる

$$P_u = P_{c.o.r.n} = \sigma_{c.o.r.n} \pi d^2 (\ell/d)(\ell/d + 1) \quad (10) \quad \text{但し} \quad \ell/d \leq \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \leq (\tau_b / \sigma_{c.o.r.n} - 1)/2 \quad (11)$$

式(7a, b)を満足しない場合には、 $p_{b.o.n.d}(x)$ と $p_{c.o.r.n}(x)$ とが接する以前に付着破壊することを意味しておりアンカーボルト耐力は

$$P_u = \tau_b \pi d (\ell - u) \quad (12) \quad \text{但し} \quad (\tau_b / \sigma_{c.o.r.n} - 1)/2 \leq \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \text{かつ} \ell/d \leq \mu + \sqrt{\mu^2 + \mu} \quad (13a, b)$$

以上が材料、構造パラメーターと付着型アンカーボルトの破壊形式、耐力との関係である。
またアンカーボルトが複数本の場合は、それぞれのアンカーボルトによる相互作用を考慮したコーン破壊面を用い上記と同様の考え方で耐力が算定できる。

3. 実験による検証: 2.で示した耐荷機構の妥当性を確認するためにアンボンド長を0～5dまで変化させたフーチング型供試体(図4)による実験結果と解析結果の比較を表1に示す。ここで材料パラメーターとして $\sigma_{c.k} = 286 \text{ kgf/cm}^2$, $\tau_b = 134 \text{ kgf/cm}^2$ およびコーン破壊強度としては文献³⁾で示されている頭付きアンカーボルトに対するコーン破壊強度の平均値とその下限値の両者を用いた。この結果から、初期ひび割れ発生荷重は $\sigma_{c.o.r.n} = 0.6 \sqrt{\sigma_{c.k}}$ とした場合の解析値と相関が良く、最大荷重は $\sigma_{c.o.r.n} = \sqrt{\sigma_{c.k}}$ とした場合の解析値と相関が良いことがわかる。さらに、それぞれの破壊形式を比べると解析に用いるコーン破壊強度の算定によって破壊形式に差はあるものの、その形式の定性的な特徴は一致していることがわかる。

4. あとがき: 本耐力算定モデルにより付着型アンカーボルトの耐荷機構が合理的に説明でき、さらに実験によりその妥当性も明らかになった。ただ妥当性の検討には実定着長が5dである定着長の短い供試体を用いており20～25d程度の埋め込み長を持つ実際のアンカーボルトの耐力の定量的評価についてさらに検討が必要と考える。

表1 実験結果と解析値の比較

供試体形状		実験値(ton)		解析値(ton)	
埋め込み長(ℓ/d)	アンボンド長(u/d)	クラック発生荷重	最大荷重	最大耐力	
		P_{crack}	P_u	P_{u1}	P_{u2}
5.0	0.0	29.5***	36.4	23.4(c)	35.1(c)
7.0	2.0	37.2***	52.2	40.8(c)	54.7(b)
7.5	2.5	51.0***	63.3	49.2(c)	54.7(b)
10.0	5.0	64.1**	74.7	54.7(b)	54.7(b)
5.0 ☆	3.0	36.9***	48.1	39.0(c)	54.7(b)

(注) P_{u1} , P_{u2} : $\sigma_{c.o.r.n}$ をそれぞれ $0.6 \sqrt{\sigma_{c.k}}$, $\sqrt{\sigma_{c.k}}$ としたときの

耐力の解析結果, (c) コーン破壊と付着破壊, (b) 付着破壊

** : 曲げひび割れ発生, *** : 曲げひび割れと一部コーンひび割れ発生

☆ : アンカーボルト3本組による供試体を示す

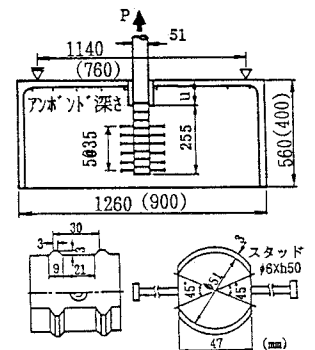


図4 供試体形状 ()はアンボンド2.5d

参考文献: 1)前野他: 第2回合成構造に関するシンポジウム講演論文集, pp. 403～410, 1989. 3

2)土木学会: コンクリート標準示方書(設計編)昭和61, 3)日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, 1985