

論 文

[2030] 鋼管、H形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果
について佐藤政勝^{*1}、田中祐人^{*2}

1. はじめに

コンクリートに埋め込まれた鋼板の付着強度は、周囲コンクリートとの粘着力およびコンクリート面の摩擦力とからなる。これらの粘着力と摩擦力は、鋼材自身の表面粗度に左右されるが、コンクリートで囲まれた拘束効果による影響が支配的である。形状が偏平な鋼板は2方向からの拘束力を期待できないことから、その最大付着強度（以下 τ_B で表示）は丸鋼のそれに比べ小さくなる傾向がある。コンクリートに埋め込まれた鋼板の付着特性については若林の一連の実験研究[1]により定性的に把握される一方、鋼板のコンクリートの摩擦係数として、側圧力下における押抜き試験を実施した著者らの実験[2]から0.75が、また引き抜き試験を実施した園田らの実験[3]から0.6が提案される等ほぼ解明されているが、形鋼、钢管の付着特性については形鋼の形状や寸法およびコンクリートの充填や被覆の状態などの影響を受けるため、付着強度に対する定量的な評価式の提案までに至っていない。

ここでは、钢管とH形鋼の押抜き試験により钢管内面とH形鋼周面の最大付着強度（以下 τ_{max} で表示）はコンクリート接触面積（以下 A_B で表示）に左右されること、またH形鋼の τ_{max} はフランジのかぶり厚さ（以下Cで表示）にも大きく影響されることを明らかにしたうえで、Cとフランジ幅（以下Bで表示）の比をパラメータとしたH形鋼の τ_{max} の評価式を提案し、埋め込まれたH形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果について考察する。

2. 押抜き試験における付着強度

2. 1 H形鋼の押抜き試験

表1に示すH形鋼について押抜き試験を実施し、付着強度（以下 τ_n で表示）と自由端の滑り量（以下 δ_f で表示）の関係及び最大付着強度を求めた。H形鋼寸法は150X150, 194X150, 300X300, 496X200および900X300の5種類について、Cを50, 75mmに、C/Bを0.25, 0.5に選定した。また、粗骨材の最大寸法は25mm、水セメント比は46.5%で、その呼び強度が300kgf/cm²のレディ

表1 H形鋼の押抜き試験における供試体寸法と最大付着強度

TP No	供試体種類と形状寸法						最大付着強度		
	被覆コンクリート			押し込みH形鋼(SS400)			荷重 P tonf	τ_{max} P/A_B kgf/cm ²	τ_{max} σ_B %
	外寸法 mm	C mm	σ_B kgf/cm ²	HXBxt1xt2 mm	C B	接触面積 cm ²			
1	1100X450	75	300	900x300x16x28	0.25	8910	23.5	2.6	0.9
2	650X300	50	300	496x200x9x14	0.25	5310	20.4	3.8	1.3
3	450X450	75	300	300x300x15x15	0.25	5370	22.6	4.2	1.4
4	300X300	75	362	194x150x6x9	0.50	2445	21.5	8.8	2.4
5	300X300	75	362	150x150x7x10	0.50	2658	24.8	9.3	2.6

*1 川崎製鉄株式会社構造研究所土木建材研究室主任研究員、工博（正会員）

*2 川崎製鉄株式会社構造研究所土木建材研究室主任研究員、工修

ミクストコンクリートを使用したが、4週目圧縮強度（以下 σ_B で表示）は300kgf/cm²（供試体1,2,3）と362kgf/cm²（供試体4,5）であった。

H形鋼の押抜き試験では、図1に示すように δ_f が0.05mmを境に滑り量が急激に増加し、H形鋼が抜け出し、荷重が最大に達する。この時の荷重を A_b で除した τ_{max} を表1と図2に示す。H形鋼の τ_{max} と A_b の関係を示した図2から、 A_b が増加すると τ_{max} は減少する傾向がみられ、小型H形鋼の τ_{max} は9kgf/cm²程、圧延H形鋼の最大級のH-900X300のそれは2.6kgf/cm²であって、 τ_{max} の1/3を許容付着応力（以下 τ_a で表示）の目安とするとそれぞれ3kgf/cm²、0.9kgf/cm²となる。現行建築学会規準[4]の τ_a の4.5kgf/cm²は中型および大型圧延H形鋼に対する τ_a としては相当危険側の値であって、角形鋼管の内側に対する $\tau_a=1.0$ kgf/cm²程度に下げる必要がある。

2.2 鋼管の押抜き試験

表2に示すように、外径φ609.6と269mmの鋼管にコンクリートを充填した供試体について押抜き試験を実施し、 $\tau_{nb}-\delta_f$ 曲線および τ_{max} を求めた。粗骨材の最大寸法25mm、水セメント比45.6%で、呼び強度が300kgf/cm²のレディーミクストコンクリートを使用したが、その σ_B は342kgf/cm²であった。

図1に示す鋼管（φ609.6）の押抜き試験の $\tau_{nb}-\delta_f$ 曲線から、載荷初期段階で δ_f が生じ荷重の増加に伴い δ_f が放物線的に漸増し τ_{max} に達する。この挙動はコンクリートの乾燥収縮より鋼管内面とコンクリート界面に生じた若干の隙間によるものと推察される。図2から A_b の増加に伴い τ_{max} は減少する傾向がみられφ269mmに対し8.1kgf/cm²、φ609.6のそれは3.9kgf/cm²であって、 τ_{max} の1/3を τ_a の目安とするとそれぞれ2.7kgf/cm²、1.3kgf/cm²となり、現行建築学会規準[4]の $\tau_a=1.5$ kgf/cm²は小径管に対しては十分余裕のある値であるが、φ600mm以上の鋼管に対しては若干であるが危険側の値である。

3. コンクリートに埋め込まれたH形鋼の付着特性

3.1 H形鋼の付着強度に対する評価式の提案

図3に、鋼材の τ_B とCの関係について既往の実験成果を示す。縦軸に τ_B/σ_B を、Cを鋼板幅（以下 b_f で表示）除した値を横軸に取り、若林の実験結果[1]を白丸で示し、国分らの実験結果[5]を白三角で示す。 σ_B が230kgf/cm²に対する若林の提案式では、 τ_B/σ_B は C/b_f

表2 鋼管の供試体形式と最大付着強度

TP No	鋼管 (STK400)			最大付着強度	
	外径	板厚	接触面積	荷重	P/A_b
	mm	mm	$A_b:cm^2$	tonf	kgf/cm ²
1	609.6	9	5573	21.8	3.9
2	269.0	6	2421	19.7	8.1

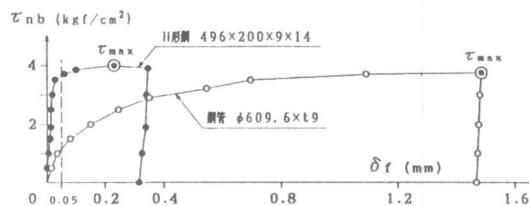


図1 押抜き試験における $\tau_{nb}-\delta_f$ 曲線

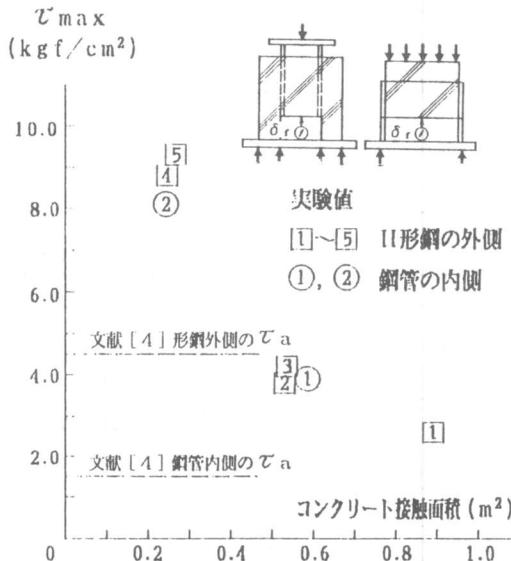


図2 H形鋼、鋼管の τ_{max} と接触面積の関係

に比例して増大し、 $\tau_B = 0.08 \sigma_B = 18 \text{kgf/cm}^2$ で頭打ちとなるが、 σ_B が 305kgf/cm^2 に対する国からの実験結果を参照にして $\tau_B / \sigma_B = 0.065$ で押さええることで、若林の式に対する適用範囲を $\sigma_B = 300 \text{kgf/cm}^2$ 級まで拡張する。

図4には、縦軸に τ_{\max} / σ_B を、C/Bを横軸に取り、H形鋼の押抜き試験の結果を記号□で示し、chaplesの押抜き試験供試体14個の平均値($\tau_{\max} / \sigma_B = 10.6 / 265 = 0.04$)を●印[6]で示す。

鋼板の τ_B に対する若林の提案式を原点を通るよう平行移動させた実線は実験値とはほぼ等しい傾向を示しており、H形鋼の τ_{\max} の評価式として次式を得る。

$$\tau_{\max} / \sigma_B = 0.05 \cdot C/B \quad (C/B < 0.8) \quad (1)$$

$$\tau_{\max} / \sigma_B = 0.04 \quad (C/B \geq 0.8) \quad (2)$$

かぶり厚さが零ではフランジ側面に付着力が働くないから τ_{\max} も零となり、かぶり厚さがある場合は鋼材の粘着力は無視できる程小さく、C/Bに依存する摩擦力と σ_B により τ_{\max} が算定できる。

供試体1, 2, 3(C/B=0.25)と供試体4, 5(C/B=0.5)に対する τ_{\max} はそれぞれ3.8および9.1kgf/cm²となる。H形鋼を用いたSCやSRC構造では死荷重の低減の立場から実用的なC/Bは0.2~0.5の範囲と予想されるので、この範囲に対する τ_{\max} は0.01~0.025· σ_B 、また τ_{\max} の1/3を τ_a の目安とすると0.003~0.008程となり、現行建築学会規準[4]の $\tau_a = 0.02 \sigma_B$ は相当危険な値である。

3.2 H形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果について

油圧ジャッキによって側面圧力(以下 σ_3 で表示)を一定に保ちながら、鋼板の押抜き試験を実施した結果[2]から次式が提案されている。

$$\tau_{\max} = 0.75 \sigma_3$$

コンクリートに埋め込まれた鋼板の側面に

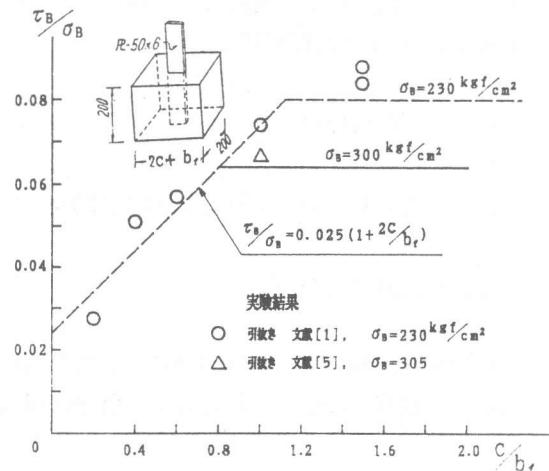


図3 鋼板の τ_B / σ_B と C/b_f の関係

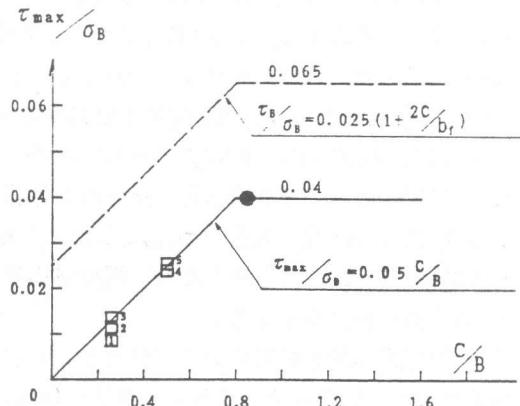
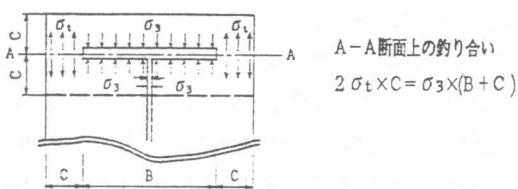


図4 H形鋼の τ_{\max} / σ_B と C/B の関係



(3) 図5 フランジに働く σ_3 とかぶりに生じる σ_t の関係

は、コンクリートの収縮、鋼板面の凹凸や鋼材のポアソン比による材軸に直角な歪みなどにより σ_3 が生じ、この σ_3 の拘束効果より付着強度が生じるものと考えられている[1]。図5に示すモデル化において、フランジ側面とウェブの一部分（ここでは、C区間に仮定）に働く σ_3 と釣り合うようにフランジ端面のコンクリートに引張応力（以下 σ_t で表示）が生じると仮定すると、その σ_t は次式で評価できる。

$$\sigma_t = \sigma_3 \cdot (1 + B/C)/2 \quad (4)$$

また、式(1)、(3)により、 σ_3 は次式から求めることができる。

$$\sigma_3 = (\sigma_B/15) \cdot (C/B) \quad (5)$$

供試体1, 2, 3および供試体4, 5に対して式(5)から、 σ_3 として5.0, 12.1kgf/cm²が求まり、これらの値を式(4)に代入し σ_t としてそれぞれ12.5, 18.3kgf/cm²が求まる。

4. まとめ

钢管の供試体2組6体、H形鋼の供試体5組15体の押抜き試験による実験研究の成果及び鋼板の付着特性に関する既往の研究成果を考察することにより、次のように示すことが確認された。

- (1) 鋼管内面の τ_{max} は A_b の増加に比例して減少する傾向がみられ、 $\phi 269\text{mm}$ の τ_{max} は8.1kgf/cm²、 $\phi 610\text{mm}$ に対し3.9kgf/cm²であって、 τ_{max} の1/3を τ_a の目安とするとそれぞれ2.7kgf/cm², 1.3kgf/cm²となり、現行建築学会規準の $\tau_a=1.5\text{kgf/cm}^2$ は小径管に対しては余裕のある値であるが、 $\phi 600\text{mm}$ 以上の鋼管に対しては若干であるが危険な値である。
- (2) H形鋼の A_b が増加すると、その最大付着応力は減少する傾向がみられ、小型H形鋼の τ_{max} は9kgf/cm²程、大型の τ_{max} は2.6kgf/cm²であって、 τ_{max} の1/3を τ_a の目安とするとそれぞれ3kgf/cm², 0.9kgf/cm²となり、現行建築学会規準の $\tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$ は相当危険側の値を示し、 τ_a の見直しが必要である。
- (3) H形鋼の最大付着応力の評価式として、 $\tau_{max}=0.05 \cdot \sigma_B \cdot C/B$ を提案する。また、この評価式が適用可能な場合、フランジ周面に $(\sigma_B/15) \cdot (C/B)$ の拘束応力をコンクリートから受けていることが推察できる。

参考文献

- 1)若林実：鉄骨鉄筋コンクリートに関する実験的研究、東京大学生産技術研究所報告、Vol. 6, No. 2, pp. 66-72, 1956
- 2)佐藤政勝・石渡正夫：平鋼および突起付き鋼板とコンクリートの付着特性、第2回コンクリート工学年次講演会論文集、92, pp. 365-368, 1980
- 3)園田恵一郎ほか：鋼板・コンクリート合成構造の付着特性に関する基礎的研究、土木学会第40回年次学術講演会講演論文集、I-153, pp. 344-345, 1991
- 4)日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（第4版）、1987. 6
- 5)国分正胤ほか：鉄骨とコンクリートの付着、土木学会第29回年次学術講演会、V-14, 1974
- 6)Charles, W. R. : Bond Stress of Embedded Steel Shapes in Concrete, Composite and Mixed Construction, Proc. of the U.S./Japan Joint Seminar, pp. 227-240, 1984