

第3章 付着に関する研究WG報告

第3章 付着に関する研究 目次

3. 1	はじめに	6 0
3. 2	鋼とコンクリートの付着メカニズム	6 1
3. 2. 1	平鋼	6 1
3. 2. 2	H形鋼	6 8
3. 2. 3	突起付鋼板に関する文献検索	7 2
3. 3	合成部材の付着特性	7 9
3. 3. 1	突起付H形鋼を使用した合成部材	7 9
3. 3. 2	コンクリート充填鋼管	8 8

3. 1 はじめに

鋼材とコンクリートとの間における応力伝達メカニズムの調査研究を目的とし、鋼板とコンクリートの付着についてワーキンググループ（WG）を設け検討を行った。

ワーキンググループではまず、既存の鋼とコンクリートの付着に関する文献の収集を行った。次にキーワードを設定し文献の整理を行った。収集した文献が十分であるとは言い難いが、ここまでの作業を行った結果、鋼板とコンクリートの付着に関する基礎的研究の文献が少なく、付着力による応力伝達のメカニズムが十分に解明されていないことが読みとれ、また、実験方法や条件等の相違により単純な比較検討が難しいことが分かった。

しかしながら、キーワードで文献の整理を行ったことにより、今後、鋼とコンクリートの付着に関する研究・実験を行う場合これらの文献が参考になりうると考えられる。

今回、比較的考察の行いやすかった、平鋼・H形鋼・突起付き鋼板といった基礎的な付着メカニズムと、合成部材の付着特性について、各文献の比較等を盛り込みながら、鋼とコンクリートの付着に関する研究成果をまとめた。

3. 2 鋼とコンクリートの付着メカニズム

3. 2. 1 平鋼

(1) 収集文献の概要

園田らの一連の実験(文献[4,5,6,7])では、コンクリートを鋼板で挟み込んだ供試体を側圧が一定になるように制御した状態で鋼板の引き抜き試験を行っている。また佐藤ら(文献[19])は、鋼板をコンクリートで挟み込んだ供試体を側圧が一定になるように制御した状態で押し抜き試験を行ない、両者とも鋼板とコンクリートとの摩擦係数を算出している。

若林氏(文献[18])は、立方体中央に平鋼を配置した供試体でコンクリート強度、引き抜き押し抜きの実験方法の相違、埋め込み長さ、被覆厚、コンクリートを打つ時の鉄骨の置き方、生コンクリートの沈下の影響をパラメータとした実験を行っている。

武田ら(文献[10])は、各種防錆処理鋼板とコンクリートの付着強度について実験を行っている。立方体中央に平鋼を配置した供試体で、表面状態の異なる平鋼の引き抜き試験を行ない付着強度の算出をしている。

(2) 粘着力と摩擦力による付着強度

鉄筋コンクリート構造物において、鉄筋とコンクリートの付着強度は、多くの実験研究により確立されていることは周知のとおりである。一方、近年注目をされている、鋼とコンクリートの合成構造物においてその力の伝達はスタッドや有孔鋼板等によって行われ、コンクリートと鋼板の付着は見込まれていない物が多い。平鋼の最大付着強度は、丸鋼の1/2程度であると言われているが、コンクリートの強度、かぶり、鋼板の表面状態等の多くの影響をうけ、付着強度に対しての信頼性の低さが影響しているものと考えられる。

文献[18] 文献[19]によるとコンクリートと鋼板の付着強度はコンクリートと鋼板の粘着力とコンクリートと鋼板の間に生じる摩擦力との和といわれている。文献[19]では供試体を反転しただけで鋼板とコンクリートが剥離してしまうものもあり、コンクリートと鋼板の粘着力は無視できる程度に小さいものとして考慮しない方が付着強度の特性を考える上で合理的であるとしている。以下の考察についても同様に粘着力を考慮しないものとした。

(3) 影響因子の整理

文献[19]によると、コンクリートと鋼板の付着強度は、両者の摩擦作用に依存し、この摩擦力は主にコンクリートの収縮によるものと考えられている。これらの観点と、収集した文献を参考に、鋼とコンクリートの付着強度における影響因子を整理すると、

- ① 側圧
- ② 鋼板の表面状態
- ③ コンクリート強度

- ④ 供試体かぶり
- ⑤ コンクリートを打ち込む時の鋼板の置き方（コンクリートのブリージングの影響）
- ⑥ コンクリートの収縮沈下
- ⑦ 鋼板の埋め込み長さ
- ⑧ 引き抜き、押し抜きの実験方法が上げられる。

(4) 側圧を载荷した実験

文献[12]、文献[19] は側圧を実験の変数として取り扱っている。それぞれ実験により得られた結果より、付着強度における側圧の影響について、鋼板とコンクリートの接合面における摩擦係数とみなしている。それぞれの実験モデルを図-3.2.1 図-3.2.2 に示す。実験のモデルは共に横方向にコンクリートがなく、かぶりは0である。付着強度と側圧の関係を図-3.2.3 に示す。粘着力は非常に小さく無視できることから付着強度は側圧に依存し側圧が0の時、付着強度は0としている。

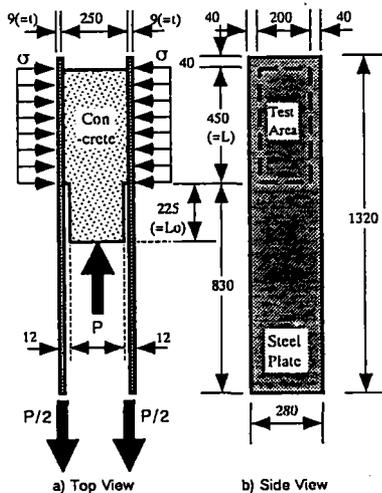


図-1 供試体の概要

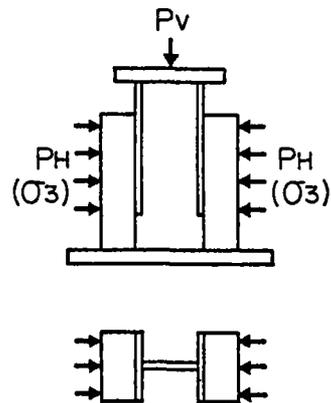


図-3.2.2 文献[19]実験モデル

図-3.2.1 文献[12]実験モデル

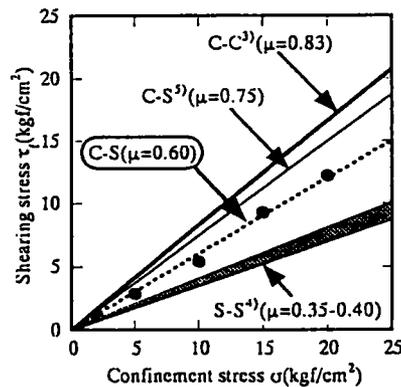


図-4 平鋼板の付着強度と側圧

図-3.2.3 文献[12]平鋼板の付着強度と側圧

付着強度と側圧、コンクリートと鋼板の摩擦係数の関係を式 (3.2.1, 3.2.2) に示す。

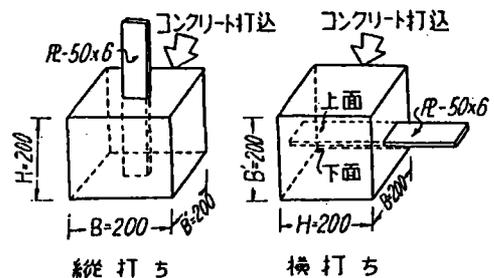
$$\tau_{nb \max} = 0.60\sigma_3 \quad \dots \text{文献[12]} \quad (3.2.1)$$

$$\tau_{nb \max} = 0.75\sigma_3 \quad \dots \text{文献[19]} \quad (3.2.2)$$

$\tau_{nb \max}$: 付着強度
 σ_3 : 側圧
 μ : 摩擦係数 (0.60 or 0.75)

(5) 立方体中央に平鋼を配置した実験

側圧が 0 の時、付着強度が 0 であるとすれば立方体中央に平鋼を配置した供試体の付着強度はコンクリートの収縮等により鋼板面に圧縮力(側圧)が働いていると考えられる。文献[18]のコンクリート強度、引き抜き押し抜きの実験方法の相違、埋め込み長さ、被覆厚、コンクリートを打つ時の鉄骨の置き方、生コンクリートの沈下の影響 といったこれらのパラメータは供試体中の鋼板へ作用する圧縮力(側圧)に影響するものと考えられる。



第 6.1 図 シリーズ I 標準試験体の形状

図-3.2.4 文献 [18] 実験モデル

摩擦係数を $\mu = 0.60$ と仮定した場合の平鋼への予想側圧 σ_3 は式(3.2.3)で算出する事が出来る。

$$\sigma_3 = \tau_{nb \max} / 0.60 \quad (3.2.3)$$

文献[18]の実験値において、計算される予想側圧を表-3.2.1 に示す。

表-3.2.1 予想側圧の計算

文献[18]における 実験のパラメータ	X	σ_{ct}	b	h	μ	τ_{nbmax}	σ_3
コンクリート強度 (引き抜き試験)	7.5	13	5	20	0.6	14.1	23.5
	7.5	14	5	20	0.6	17.3	28.8
	7.5	19	5	20	0.6	17.5	29.2
	7.5	26	5	20	0.6	23.2	38.7
	7.5	35	5	20	0.6	25.3	42.2
コンクリート強度 (押し抜き試験)	7.5	13	5	20	0.6	16.1	26.8
	7.5	14	5	20	0.6	17.0	28.3
	7.5	19	5	20	0.6	17.2	28.7
	7.5	26	5	20	0.6	18.3	30.5
	7.5	35	5	20	0.6	27.6	46.0
コンクリートの かぶり量 (引き抜き試験)	1	18	5	20	0.6	6.4	10.7
	2	18	5	20	0.6	11.9	19.8
	3	18	5	20	0.6	13.2	22.0
	5	18	5	20	0.6	17.3	28.8
	7.5	18	5	20	0.6	19.5	32.5
	10	18	5	20	0.6	19.0	31.7
平鋼の埋込長さ (引き抜き試験)	7.5	21	5	5	0.6	19.6	32.7
	7.5	21	5	10	0.6	20.8	34.7
	7.5	21	5	15	0.6	20.5	34.2
	7.5	21	5	20	0.6	20.3	33.8
	7.5	21	5	30	0.6	17.8	29.7

X : かぶり (cm)

b : 平鋼の幅 (cm)

h : 平鋼の埋込長さ (cm)

σ_{ct} : コンクリートの引っ張り応力度 (kgf/cm^2)

τ_{nbmax} : 付着強度 (kgf/cm^2)

σ_3 : 予想側圧 (kgf/cm^2)

μ : 摩擦係数 (0.60)

(6) 鋼板の表面状態の相違による付着強度実験

文献[10]では鋼板表面の防錆処理の違いによるコンクリートとの付着強度について実験を行っている。表面状態の相違による実験値のばらつきが大きく、コンクリートと鋼板の摩擦係数が影響しているものと考えられる。

一般的に鋼板表面の防錆処理の記載がない実験が多く、文献[12, 18, 19]においても鋼板表面状態の記載がない。

文献[10]の実験値において、鋼板に働く側圧を表3.2.1のかぶりとコンクリート強度を参考に $\sigma_3 = 40 \text{ kgf/cm}^2$ と仮定した場合、式(3.2.4)より得られる摩擦係数の計算結果を表-3.2.2に示す。

表 3.2.2 摩擦係数の計算

鋼板の表面状態	X	σ_{ct} (予測)	鋼板幅b	鋼板長h	σ_3 (仮定)	τ_{nbmax}	μ
黒皮	7.5	30	7.5	30	40	14.8	0.37
錆	7.5	30	7.5	30	40	35.5	0.89
ウオッシュ	7.5	30	7.5	30	40	18.8	0.47
有機ジンク	7.5	30	7.5	30	40	24.2	0.61
無機ジンク	7.5	30	7.5	30	40	29.8	0.75
ブラスト	7.5	30	7.5	30	40	35.8	0.90
メッキ	7.5	30	7.5	30	40	28.3	0.71

$$\mu = \tau_{nbmax} / \sigma_3 \quad (3.2.4)$$

(7) 文献より得られた知見

コンクリートと鋼板の付着強度は摩擦作用に依存するならば、武田らの各種防錆処理鋼板の付着強度実験は非常に興味がわく実験である。鋼板の表面状態により付着強度に2倍以上ものばらつきが存在し、大きな影響因子であると言える。佐藤ら、園田ら、若林氏の実験では鋼板の表面状態の記述はないため、その観点からの考察は不可能である。

鋼板とコンクリートの付着メカニズムの解明について、文献より得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 鋼板の表面状態、コンクリートの種類や骨材の相違による摩擦係数の解明が必要である。
- 2) 立方体に配置した平鋼の場合コンクリートの収縮による鋼板への側圧の解明が必要である。

収集文献一覧表 (3. 2. 1 平鋼)

- "1, 富永知徳、西海健二、室井進次、古市耕輔, 拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する報告, 第53回土木学会年次学術講演会, 1998年10月01日"
- "2, 平陽兵、古市耕輔、村山正人、西海健二, 孔あき鋼板ジベルの耐荷力に関する研究, 第53回土木学会年次学術講演会, 1998年10月01日"
- "3, 橋本修身、末田明、三島徹也、篠田佳男, 突起付き鋼板の引き抜き耐荷性能, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "4, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中島一男, 側圧を制御した引抜試験による突起付き鋼板の付着特性, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "5, 園田恵一郎、鬼頭宏明、谷口幸之, 突起付鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日"
- "6, 園田恵一郎、鬼頭宏明、浜本雄司, 鋼板・コンクリート合成板における鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "7, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中前潔, 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, 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "8, 池信秀明、能町純雄, コンクリート・鋼管構造の剛性に与える鋼管表面形状の実験的考察(2)(鋼材表面の防食層がコンクリート付着力に及ぼす影響), 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "9, 吉田康樹、北田俊行、中井博、才村幸生, 突起付鋼板を用いた合成柱の鋼板からコンクリートへの応力伝達挙動について, 第44回土木学会年次学術講演会, 1989年10月01日"
- "10, 武田芳久、栗田章光、渡辺滉, 各種防錆処理鋼板とコンクリートとの付着強度について, 第43回土木学会年次学術講演会, 1988年10月01日"
- "11, 池田他, 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 土木学会, 1989年03月01日"
- "12, 園田恵一郎, 突起付き鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "13, 長山 秀昭, 突起付き鋼板を用いたSC構造はりの曲げ特性およびひびわれ分散性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "14, 緒方紀夫、村山陽、沖本真之、今西直人, 鋼製エレメントとコンクリートとの付着性能に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16 No.2, 1994年"
- "15, F. Leonhardt, Neues vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit Hoher Dauerfestigkeit, Beton-und Stahlbetonbau, Heft, 1987年12月"
- "16, 高東劭、西海健二、呉智深、町田篤彦, 不連続有限要素解析法を用いた鋼板とコンクリートの付着特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "17, 上中宏二郎、鬼頭宏明、上平謙二、園田恵一郎, 突起付鋼板に頭付スタッドを併用した場合の付着せん断特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "18, 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報告書 Vol.6, No.2, 1956年"

- "19, 佐藤政勝、石渡正夫（川崎製鉄）, [92]平鋼および突起付鋼材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, 1980年"
- "20, 椿龍哉、橋本幹司、池田尚治、山野辺慎一, 境界要素法を用いたコンクリート部材の付着解析, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, 1985年"
- "21, 三浦尚、瀬本浩史, RC 及び SRC 部材に発生する最大ひびわれ幅に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 11-2, 1989年"
- "22, 土木学会構造工学委員会、鋼・コンクリート複合構造研究小委員会, 合成構造用鋼材の利用に関する調査研究報告書,, 1993年03月01日"

3. 2. 2 H形鋼

(1) H形鋼とコンクリートの付着に関する文献

H形鋼に関する文献は、①H形鋼とコンクリートの付着に関するもの、②突起付H形鋼とコンクリートの付着に関するもの、③ずれ止めにH形鋼を用いた合成桁に関するもの、に分類される。本報告では、基本的なH形鋼とコンクリートの付着特性に着目し、上記分類①に属する文献 [4] について説明を加えるものとする。

文献 [4] では、H形鋼の押抜き試験を行い、H形鋼の最大付着強度 τ_{max} とフランジのかぶり厚さ（以下 C で表示）の関係より τ_{max} の評価式を提案。またH形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果（側圧）について考察している。

(2) 建築学会規準における許容付着応力度

現行の建築学会規準における形鋼・鋼板とコンクリートの許容付着応力度は、かぶり及び側圧といった要因に関係なく、コンクリート強度 σ_B に対する関係式として式 1 を規定している。

$$\cdot \tau_a = 0.02\sigma_B (\leq 4.5) \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots\dots \text{式 1}$$

おそらく、一般的に建築部材で採用されるかぶり（50mm 程度）を考慮した値であると思われる。

(3) H形鋼の押抜き試験

文献 [4] では表-3.2.3 に示すように、5種類のH形鋼について押抜き試験を行っている。Cについては一般的に建築部材で採用される 50mm, 75mm の2種類としている。

表-3.2.3

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	τ_{max}	τ_{max}	
	外寸法 mm	C mm	σ_B kgf/cm ²	HXBxtlxt2 mm	C B	接触面積 cm ²	P tonf	P/A _b kgf/cm ²	σ_B %	
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	

結果として、大型のH形鋼（接触面積が大きい）ほど付着強度が減少しているのは、コンクリートの乾燥収縮等により付着強度に関与しない部分が増加するのが原因だと思われる。また最大付着強度 τ_{max} の1/3を許容付着応力度の目安とした場合 $\tau_a = 0.9 \sim 3.1 \text{ kgf/cm}^2$ となり、上記建築学会規準における許容付着応力度(4.5kgf/cm²)より相当小さな値となっている。

(4) H形鋼の付着強度に対する評価式

本実験によるH形鋼の τ_{max}/σ_B と C/B の関係を図3.2.5に示す(B :フランジ幅)。この図における点線は、平鋼の τ_{max} に対する若林の提案式であり、平鋼とコンクリートの粘着力を考慮した式である。しかし実際は、粘着力は無視できる程度に小さいものとして考慮しない方が合理的であるとされている。

H形鋼の実験値は、点線を平行移動させた実線に等しい傾向を示しており、文献[4]では若林の提案式を準用して τ_{max} の評価式を以下のように推定している。

1) 平鋼の場合

$$\cdot \tau_{max}/\sigma_B = 0.025 (1 + 2C/B) \quad : [C/B < 0.8] \quad \cdots \cdots \text{式 2}$$

$$\cdot \tau_{max}/\sigma_B = 0.065 \quad : [C/B \geq 0.8] \quad \cdots \cdots \text{式 3}$$

2) H形鋼の場合

$$\cdot \tau_{max}/\sigma_B = 0.050 \cdot C/B \quad : [C/B < 0.8] \quad \cdots \cdots \text{式 4}$$

$$\cdot \tau_{max}/\sigma_B = 0.040 \quad : [C/B \geq 0.8] \quad \cdots \cdots \text{式 5}$$

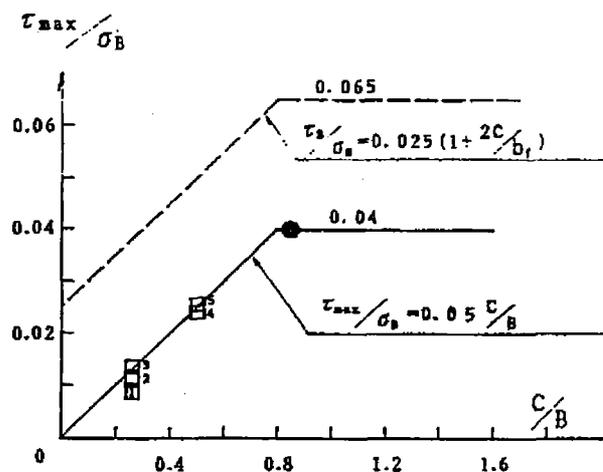


図4 H形鋼の τ_{max}/σ_B と C/B の関係

図-3.2.5

(5) H形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果

側圧 ($\sigma_3 \text{kgf/cm}^2$) を作用させながら平鋼の押抜き試験を行った結果より、若林は付着強度と側圧の関係式 (式6) を提案している。要はコンクリートに埋め込まれた平鋼の側面にコンクリートの乾燥収縮等による σ_3 が生じ、 σ_3 の拘束効果より付着強度が生じると考えている。

$$\tau_{\max} = 0.75\sigma_3 \quad \dots\dots\text{式6}$$

H形鋼のフランジ付近を平鋼と同じように考えた場合、フランジ付近に作用する σ_3 を式3及び式5から次式のように設定している。

$$\sigma_3 = (\sigma B/15) \cdot (C/B) \quad \dots\dots\text{式7}$$

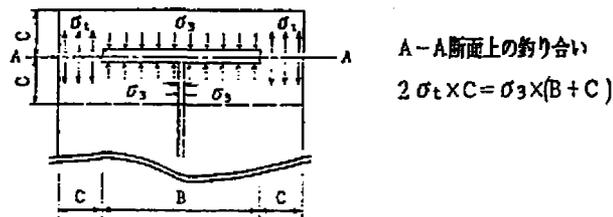


図5 フランジに働く σ_3 とかぶりに生じる σ_t の関係

図-3.2.6

(6) 考察

- 1) 文献 [4] における H形鋼の押抜き試験から想定される許容付着応力度 ($\tau_a = 0.9 \sim 3.1 \text{kgf/cm}^2$) は、建築学会規準における許容付着応力度 (4.5kgf/cm^2) より相当小さな値となっている。鋼材形状による付着評価が必要と思われる。
- 2) $\tau_{\max}/\sigma B$ と C/B の関係より、平鋼の方が H形鋼よりも付着強度が大きくなっている。H形鋼は付着面積が大きく、鋼材の形状が凹凸となっているため、付着強度に関与しない部分 (ウェブ付近等) が多くなることに起因していると思われる。
- 3) 平鋼と H形鋼の付着強度に対する評価式を比較した場合、平鋼はかぶり C が 0 でも付着強度 ($\tau_{\max} = 0.025\sigma B$) が 0 とならないことになる。これは若林の提案式では、平鋼とコンクリートの粘着力を考慮しているためである。実際にはコンクリートに囲まれた拘束効果による影響が支配的であり、付着強度に粘着力を考慮しない方が合理的であると思われる。

収集文献一覧表 (3. 2. 2 H形鋼)

- ”1, 光川直宏、浜田純夫、高海克彦, 付着を基本としたずれ止めを持つ合成桁の実験的研究, 第51回土木学会年次学術講演会, 1996年09月01日”
- ”2, 佐藤政勝、田中祐人, 合成構造における鋼管、H形鋼のコンクリートとの付着特性, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日”
- ”3, 高田 啓一, 加藤 勉、坂本 傑、大竹 章夫, 表面に突起を有するH形鋼を用いた混合構造接合部の力学的性状, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日”
- ”4, 佐藤政勝、田中祐人, 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, コンクリート工学年次論文報告集, 1993年11月01日”
- ”5, 松尾栄治、光川直宏、浜田純夫, 付着を期待した合成ばりの疲労強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1997年11月01日”
- ”6, 辻幸和 (群馬大学)、佐藤政勝 (川崎製鉄), [72]異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”7, 石渡正夫、佐藤政勝 (川崎製鉄)、辻幸和 (群馬大学), [73]異形H形鋼を膨張コンクリートで被覆したSCばりの力学的特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”8, 大竹章夫、高田啓一, 突起付きH形鋼を用いた合成桁の疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, 1987年”

3. 2. 3 突起付鋼板

(1) 突起付鋼板に関する文献検索

突起付鋼板の文献検索では、概ね次ぎの3タイプに内容が分類されると考えられる。一つ目は、突起付き鋼板とコンクリートの基礎的な付着特性や破壊形式などを把握するための実験報告(文献[5, 6, 19など])、二つ目は、突起付き鋼板の付着向上を期待してスタッドジベルと組み合わせた構造の実験報告(文献[1, 12, 27など])、三つ目は、突起付きの鋼板や鋼管を使用した合成部材の付着特性や疲労特性などの実験報告(文献[2, 8, 10など])である。

ここでは、上記のうち突起付き鋼板とコンクリートの基礎的な付着特性や破壊形式を報告した文献についてその概要を以下にまとめるものとする。

(2) 付着伝達システム

突起付鋼板の付着力は、図3. 2. 7に示すように突起に働く支圧力と鋼材とコンクリート接合面の摩擦力の合力として表現される。

<付着せん断強度 = 支圧強度 + 摩擦強度>

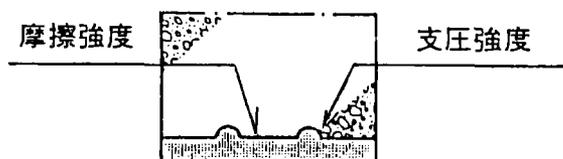


図3. 2. 7 付着伝達システム

(3) 突起付鋼板の付着特性

1) 縞鋼板と線状鋼板の付着特性

側圧を変化させたときの各突起付鋼板の付着応力度とずれの関係を図3. 2. 8、図3. 2. 9に示す。また、その特性は以下の如くである。

a. ずれ破壊形式

縞鋼板 : 低側圧でコンクリート縞鋼板の乗り上げ、高側圧でコンクリートの支圧破壊

線状鋼板 : 側圧の大きさに関係なくコンクリートの支圧破壊

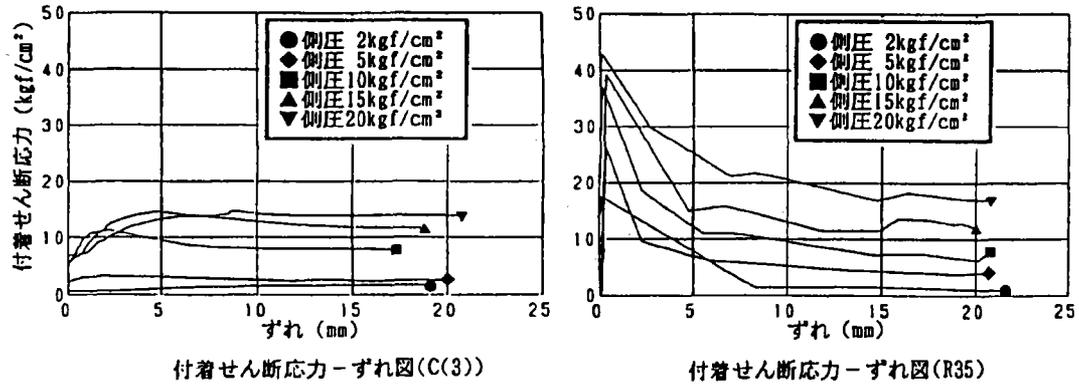
b. 付着せん断応力度-ずれ関係

縞鋼板 : 延性的性状を示す。

線状鋼板 : 脆性的性状を示す。

c. 付着せん断強度

突起の存在により増加し、また側圧が大きいほど増加する。



鋼鋼 線状鋼板
 図 3. 2. 8 付着応力度とずれ (文献[6])

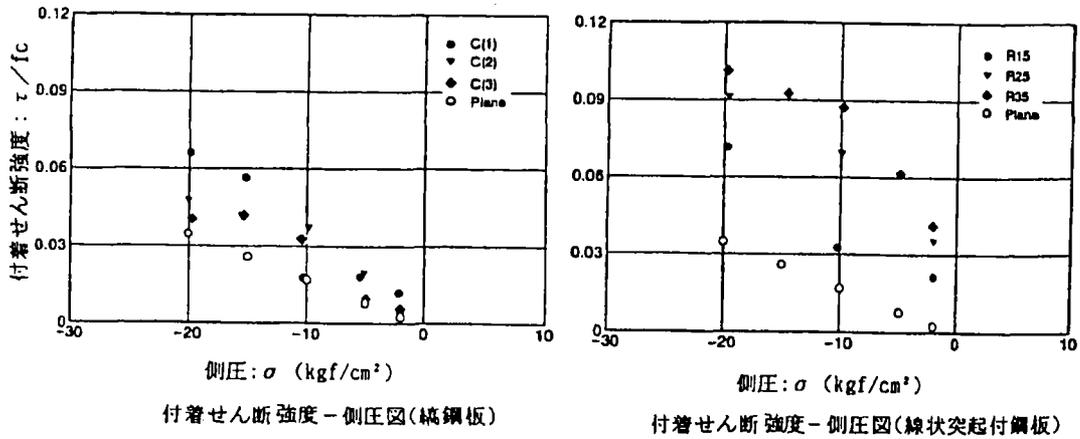


図 3. 2. 9 付着応力度と突起側圧 (文献[6])

2) 線状突起付鋼板の形状寸法の違いによる付着性状

a. 破壊形式

突起高さ (h r) とその間隔 (S r) の関係から、 $h r / S r$ が大きいときはせん断破壊、 $h r / S r$ が小さいときは支圧破壊となり、その遷移点は 0.1~0.19 となる。この数値は、異形鉄筋の比率 0.1~0.15 に一致している。

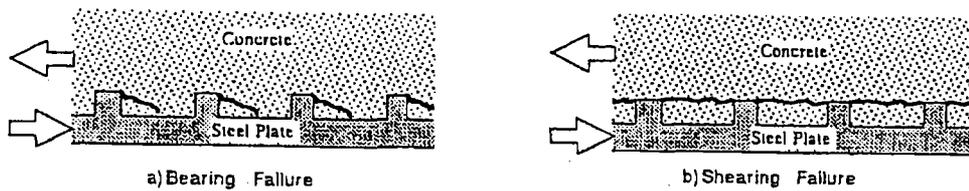


図 3. 2. 10 突起形状と破壊形式 (文献[19])

b. ずれ挙動と残留せん断応力

初期のずれ量と付着せん断応力の関係は、(1)の図3.2.8で示すように初期剛性は無限大であるが、ずれ変形の増大に伴い応力が著しく低下する。低下した後のせん断応力は、平鋼のせん断応力に相当し、 $\tau = \mu \sigma$ (平鋼の摩擦係数： $\mu = 0.6$)の関係にある。

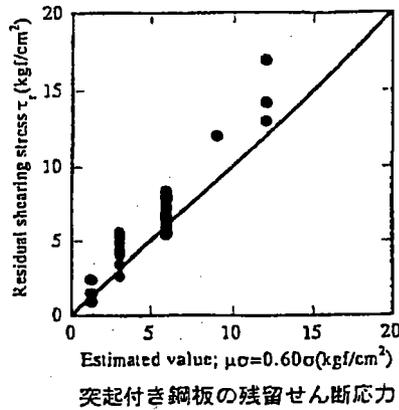


図3.2.11 突起付き鋼板の残留せん断応力 (文献[19])

c. 支圧強度の算定

図3.2.12は、突起付き鋼板の支圧強度と支圧面積比、及び支圧強度と側圧の関係を示す。前者は、突起高さまたは突起個数の増加に比例して支圧強度が高くなり、この両者間には強い相関関係がある。後者は、側圧強度と支圧強度を支圧面積で除した指標 ($\tau b/F_c/m$) の関係より、前者よりは相関関係が低下するものの相関関係が確認できる。これらの関係から、次項dに示す、付着強度式が提案されている。

支圧面積比： $m = n h r / L$ (n ：突起個数、 $h r$ ：突起高さ、 L ：コンクリートと鋼材の付着長)、せん断応力度： τ 、コンクリート圧縮強度： F_c

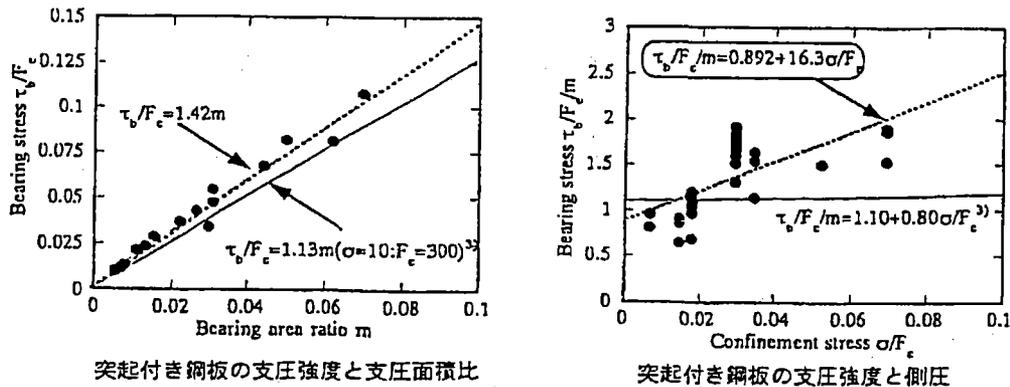


図3.2.12 突起付き鋼板の支圧強度 (文献[19])

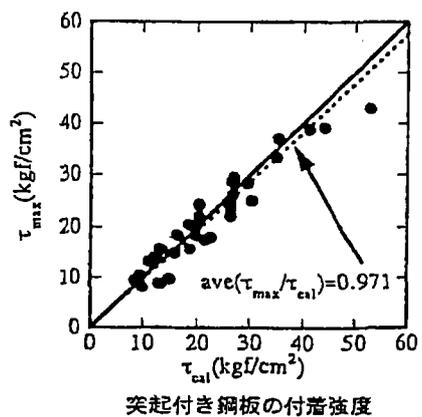
d. 付着強度算定式の提案

下記の支圧破壊形式による付着強度算定式は、摩擦強度 (0.60σ) と支圧強度の合力として提案されている。

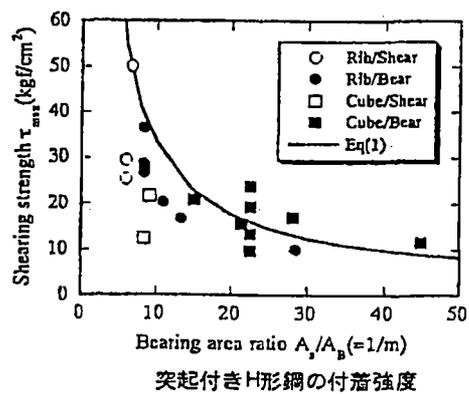
$$\frac{\tau_{cal}}{F_c} = \frac{0.60\sigma}{F_c} + m \left(0.892 + \frac{16.3\sigma}{F_c} \right)$$

ここに、 τ_{cal} : 付着強度
 F_c : コンクリート圧縮強度
 σ : コンクリート側圧応力度
 m : 支圧面積比

図3. 2. 13は、この提案式と実験結果の関係を示し、図3. 2. 14は、既存研究結果と提案式の関係を示すものである。側圧が作用する状態である右図中の●■は、提案式と良好な近似を示していることが報告されている。



突起付き鋼板の付着強度
 図3. 2. 13 (文献[19])



突起付きH形鋼の付着強度
 図3. 2. 14 (文献[19])

収集文献一覧表 (3. 2. 3 突起付鋼板)

- "1, 上中宏二郎、鬼頭宏明、上平謙二、園田恵一郎, 頭付きスタッドを併用した突起付き鋼板の付着せん断特性に対する試験法の比較, 第53回土木学会年次学術講演会, 1998年10月01日"
- "2, 光川直宏、浜田純夫、高海克彦, 付着を基本としたずれ止めを持つ合成桁の実験的研究, 第51回土木学会年次学術講演会, 1996年09月01日"
- "3, 橋本修身、末田明、三島徹也、篠田佳男, 突起付き鋼板の引き抜き耐荷性能, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "4, 井上道雄、小畑誠、柳原伸裕、後藤芳顕, 付着型アンカーボルトの引き抜き耐力におよぼす縁端距離の影響, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "5, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中島一男, 側圧を制御した引抜試験による突起付き鋼板の付着特性, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "6, 園田恵一郎、鬼頭宏明、谷口幸之, 突起付鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日"
- "7, 谷平勉, 縞付きH鋼の突起面上に打設されたコンクリートの押抜き試験, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日"
- "8, 園田恵一郎、鬼頭宏明、浜本雄司, 鋼板・コンクリート合成板における鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "9, 佐藤政勝、田中祐人、金子忠男, 突起付鋼材を用いた合成構造の設計法に関する提案, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "10, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中前潔, 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, 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "11, 池信秀明、能町純雄, コンクリート・鋼管構造の剛性に与える鋼管表面形状の実験的考察(2)(鋼材表面の防食層がコンクリート付着力に及ぼす影響), 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "12, 井上雅夫、谷平勉、萩森敏貴、神原康樹, 縞付きフランジに溶植された各種スタッドの押し抜き試験, 第45回土木学会年次学術講演会, 1990年09月01日"
- "13, 吉田康樹、北田俊行、中井博、才村幸生, 突起付鋼板を用いた合成柱の鋼板からコンクリートへの応力伝達挙動について, 第44回土木学会年次学術講演会, 1989年10月01日"
- "14, 井上肇、山川純雄、三好博嗣, コンクリート充填による異径鋼管重ね継手の強度と剛性, 第31回土木学会年次学術講演会, 1976年10月01日"
- "15, 池田他, 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 土木学会, 1989年03月01日"
- "16, 田中 祐人, 佐藤 政勝, 突起付T形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日"
- "17, 高田 啓一, 加藤 勉, 坂本 傑, 大竹 章夫, 表面に突起を有するH形鋼を用いた混合構造接合部の力学的性状, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日"

- "18, 北田 俊行, 中井 博, 才村 幸生, 吉田 泰樹, 突起付鋼板とコンクリートとの境界面の付着挙動および付着強度に関する実験的研究, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989年09月01日"
- "19, 園田恵一郎, 突起付き鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "20, 長山 秀昭, 突起付き鋼板を用いたSC構造はりの曲げ特性およびひびわれ分散性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "21, 井上末富, 山本昇, 南宏一, 内面高突起付鋼管と充填コンクリートの付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1993年11月01日"
- "22, 大内一, 水田富久, 市田博康, 小島克朗, 鋼管・コンクリート複合構造高橋脚模型の水平加力試験, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "23, 三瓶昭彦, 内田和宏, 佐々木仁, 松戸正士, 高強度無収縮モルタルを用いた鋼管継手に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "24, 清宮理, 木村秀雄, 形鋼によるずれ止めの力学特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1996年11月01日"
- "25, 松尾栄治, 光川直宏, 浜田純夫, 付着を期待した合成ばりの疲労強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1997年11月01日"
- "26, 平陽兵, 天野玲子, 大塚一雄, 孔あき鋼板ジベルの疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1997年11月01日"
- "27, 上中宏二郎, 鬼頭宏明, 上平謙二, 園田恵一郎, 突起付鋼板に頭付スタッドを併用した場合の付着せん断特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "28, 平陽兵, 古市耕輔, 山村正人, 富永知徳, 孔あき鋼板ジベルの基本特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "29, 西海健二, 富永知徳, 室井進次, 古市耕輔, 拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "30, 佐藤政勝, 石渡正夫 (川崎製鉄), [92]平鋼および突起付鋼材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, 1980年"
- "31, 富井政英, 吉村浩二, 森下陽一 (九州大学), [93]コンクリート充填円形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工学年次講演会論文集, 1980年"
- "32, 富井政英, 吉村浩二, 森下陽一 (九州大学), [94]コンクリート充填正方形および正八角形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工学年次講演会論文集, 1980年"
- "33, 辻幸和 (群馬大学), 佐藤政勝 (川崎製鉄), [72]異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年"
- "34, 石渡正夫, 佐藤政勝 (川崎製鉄), 辻幸和 (群馬大学), [73]異形H形鋼を膨張コンクリートで被覆したSCばりの力学的特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年"

- ”35, 佐藤政勝、加藤親男、三好弘高 (川崎製鉄), [74] 縞鋼板にコンクリートを充填した合成鋼管の力学特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”36, 鬼頭宏明、上中宏二郎、園田恵一郎 (大阪市大), オープンサトイッチ形鋼・コンクリート合成はりにおける突起付き鋼材のせん断付着特性, 構造工学論文集 Vol. 44A, 1998年03月01日”
- ”37, 大竹章夫、高田啓一, 突起付きH形鋼を用いた合成桁の疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, 1987年”
- ”38, 三浦尚、瀬本浩史, RC 及び SRC 部材に発生する最大ひびわれ幅に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 11-2, 1989年”

3. 3 合成部材の付着特性

3. 3. 1 突起付H形鋼を使用した合成部材

突起付H形鋼はその突起が鋼材の製造過程で形成されるものと、その他のもの（例えば、フランジ上に丸鋼等を設置したもの）に大別される。

ここでは、前者の突起付H形鋼について、その付着特性と合成部材への適用例およびこれまでに行われた種々の実験概要を収集した文献の中から紹介する。

(1) 突起付H形鋼の概要

突起付H形鋼はコンクリートとの付着を強化・保証することを目的として開発されたもので、その性能が合成部材において合理的に発揮されることが期待されている。フランジ表面の突起は鋼材の製造過程における熱間圧延時に形成される。

1) 突起付きH形鋼の種類

突起付きH形鋼には下記の3種類がある。いずれも、上下フランジ外表面の突起（2～3 mm）は製造過程における熱間圧延時に形成される。③については、H-190×190×5×7のサイズのみであるため、土木用合成構造物への適用例は皆無である。また、ウェブを任意の高さで切断してT形鋼として利用している場合もある。

- ① 突起付きH形鋼 … フランジ幅方向に横ふし状の突起があるもの
- ② 縞付きH形鋼 … フランジ幅に対して35%だけ突起があるもの
- ③ 角小突起付きH形鋼 … フランジ全面に角形状の突起があるもの

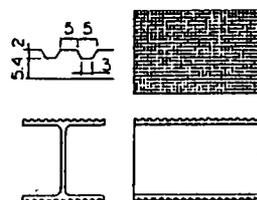
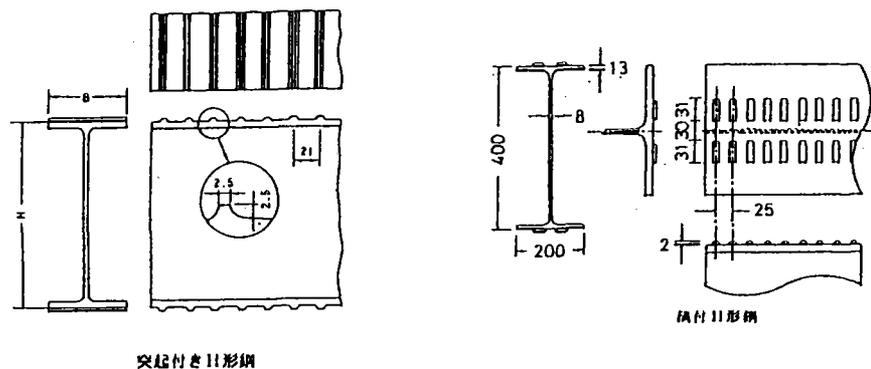


図-3.3.1 突起付H形鋼の形状

2) 付着特性

① 突起付きH形鋼の付着強度

突起付きH形鋼を使用した合成部材の力学的特性については、文献 [40, 41] で付着特性、ひび割れ分散性、変形特性に関して考察されており、いずれも通常のH形鋼と比べて優れた性能を有していることが示されている。但し、現状では付着強度に対する定量的な評価式の提案までには至っていない。

付着強度に大きな影響を及ぼす突起形状は、突起付鋼板や異径鉄筋の研究を参考として、また製造上の制約を考慮して、フランジ突起高(h)を 2.0~3.0 mm、突起間隔(d)を 20 mm ($h/d = 0.10 \sim 0.15$) に選定されている [41]。

文献 [39] では、各種の突起を付けたH形鋼の引抜き試験と押抜き試験が実施されている。

引抜き試験は、突起付H形鋼のフランジ部を切断して貼り合わせ、両面突起付鋼板に加工した供試体で行われている。引抜き試験の結果を図-3.3.2、表-3.3.1 に示す。ここで、FU2 は角小突起付H形鋼、LP1, LP2 は突起の高さと間隔が異なる突起付H形鋼である。最大平均付着応力度 $\tau_{mb, max}$ (最大荷重を突起を有する鋼板面の総面積で除した値) は突起の高さにより平鋼の 9.0~9.2 倍となり、同じく相対変位 $\delta y = 0.05$ mmのときの平均付着応力度 τ_{mb} は 3.5~5.3 倍となっている。

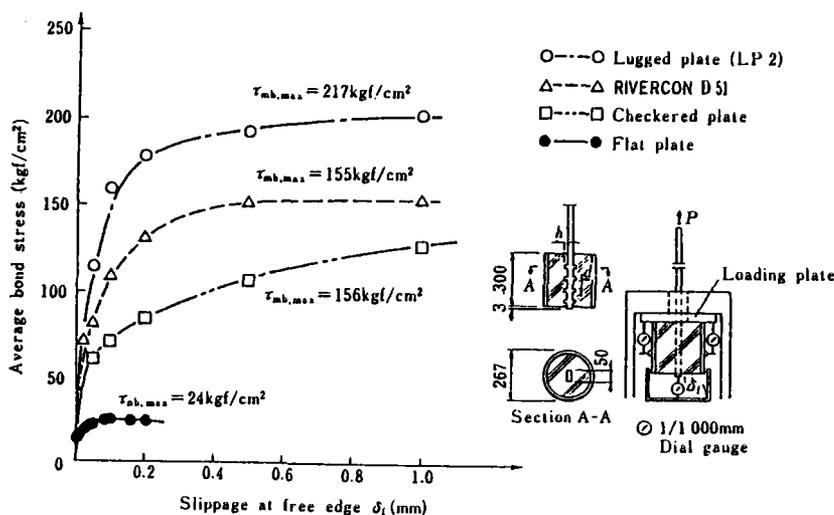


Fig.2 Relation between bond stress and slippage at free edge on pull-out tests

図-3.3.2 各種鋼材の引抜き試験の結果 (付着応力度~ずれ量)

表-3.3.1 各種鋼材の引抜き試験の結果 (最大付着応力度)

Table 1 Parameters of specimen, and experimental results on pull-out tests

Parameters of specimen				Average bond stress (kgf/cm²)					
Symbol	Knot height (mm)	Knot gap (mm)	Pattern	$\delta_l = 0.05$ mm		P_{max}		$\frac{\tau_{mb}}{\tau_{ub}}$	$\frac{\tau_{mb, max}}{\tau_{ub, max}}$
				τ_{ub}	τ_{mb}	$\tau_{ub, max}$	$\tau_{mb, max}$		
Flat plate	0	∞	—	τ_{ub}	21.8	$\tau_{ub, max}$	24.0	1.0	1.0
Checkered plate	1.5	20	Cross	τ_{mb}	61	$\tau_{mb, max}$	156	2.8	6.5
FU 2	2.0	10	Cross		82		119	3.8	5.0
LP 1	2.5	41	Lateral		76		220	3.5	9.2
LP 2	3.5	20	Lateral		115		217	5.3	9.0
RIVERCON D 51	3.5	15	Lateral		84		155	3.9	6.5

また、押し抜き試験（供試体の形状はH形鋼のまま）の結果を図-3.3.3 および表-3.3.2 に示す。表-3.3.2 における FHS, FHL は通常のH形鋼であり、FUH は角小突起付H形鋼、LH1 と LH2 は表-3.3.1 における LP1 と LP2 と同じ突起付H形鋼である。最大付着応力度 $\tau_{ms, max}$ （最大荷重から平鋼部分が負担している荷重を差し引き、これを突起部の付着面積で除した値）は突起の高さにより通常のH形鋼の 9.9~13.8 倍となり、同じく相対変位 $\delta y = 0.05 \text{ mm}$ のときの平均付着応力度 τ_{ms} は 3.5~5.1 倍となっている。この 3.5~5.1 の値は、平鋼と突起付き平鋼の引抜き試験の結果とほぼ同じである。

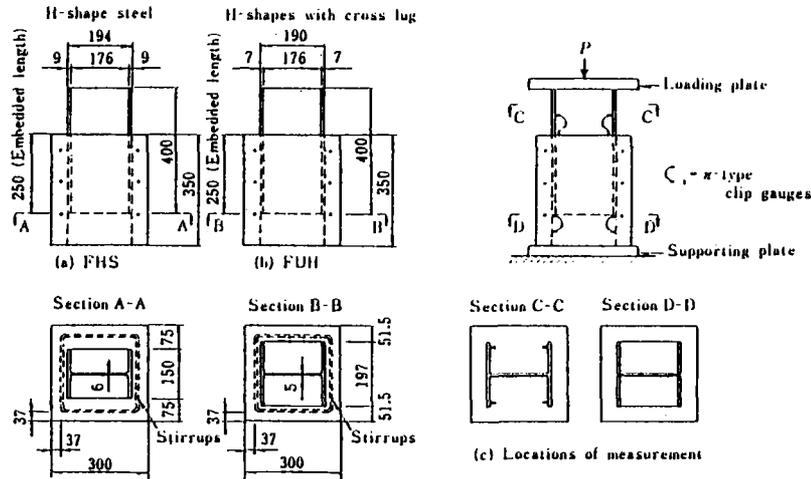


Fig. 3 Dimension and loading arrangement of push-out test specimens

図-3.3.3 各種鋼材の押し抜き試験

図-3.3.2 各種鋼材の押し抜き試験結果（最大付着応力度）

Table 2 Parameters of specimen and experimental results on push-out tests

Parameters of specimen				Loads (t) and average bond stress (kg/cm ²)							
Symbol	Size (mm)	Pattern	Contact area (cm ²)	P_s	τ_s	τ_{ms}	$\frac{\tau_{ms}}{\tau_s}$	$P_{s, max}$	$\tau_{s, max}$	$\tau_{ms, max}$	$\frac{\tau_{ms, max}}{\tau_{s, max}}$
FHS	194×150×6×9	—	$T_s = 2445$	19.0	7.8	—	1.0	21.5	8.8	—	1.0
FUH	190×197×5×7	Cross	$F_s = 1910$ $L_s = 985$	29.0	—	14.3	1.8	37.5	—	21.0	2.4
FHL	496×159×9×14	—	$T_s = 530$	19.9	3.7	—	1.0	20.4	3.8	—	1.0
LH 1		Lateral	$F_s = 4116$	30.7	—	12.8	3.5	60.9	—	37.8	9.9
LH 2		Lateral	$L_s = 1194$	37.7	—	18.7	5.1	78.6	—	52.8	13.8

Where $\tau_s = \frac{P_s}{T_s}$, $\tau_{ms} = \frac{P_s - \tau_{sb} \cdot F_s}{L_s}$

以上の試験結果より、突起付H形鋼の最大付着応力度の目安としては、前項 3.2.2 H形鋼の表-3.2.3 に示される通常のH形鋼の押し抜き試験による最大付着応力度を 9.9~13.8 倍して試算すると表-3.3.3 の通りとなる。

表-3.3.3 最大付着応力度 $\tau_{ms, max}$ の試算 (kgf/cm²)

H形鋼サイズ	通常のH形鋼	突起付H形鋼
900×300×16×28	2.6	26~36
496×200×9×14	3.8	38~52
300×300×15×15	4.2	42~58
194×150×6×9	8.8	87~121
150×150×7×10	9.3	92~128

② 縞付きH形鋼

縞付きH形鋼の突起はフランジ幅に対して 35%だけ部分的に設置されていることから、この突起による付着強度の改善効果は限定されたものとなる。

文献 [12] では縞付きH形鋼にスタッドを併用した合成桁が提案されており、押抜き試験による確認実験が行われている。ここで対象としている合成桁は、突起によりフランジとコンクリートの付着面がずれないことを前提とし、床版内に生じる斜め方向の主応力によって引き起こされるスタッドの引張力を比較的細長いスタッドで抵抗させる F. Leonhardt によって提案された方法を適用したものである。

実験結果の破壊強度と限界荷重（残留ずれ=0.075mm のときの荷重）は、表-3.3.4 の通りとなっている。カッコ内は、縞のない場合に対する AASHTO の規定する荷重を示す。Qc/Qv の値が小さいことから破壊近くまでずれが抑えられていることが判り、破壊荷重に及ぼす縞の効果はD22 場合は約 10%、D13 の場合にはほぼ 100%増加していて、縞突起がスタッドとともに破壊まで共同作用していることが確認されている。

表-3.3.4 スタッドの破壊荷重と限界荷重

スタッド	破壊荷重 Qc(tf)	限界荷重 Qv(tf)	Qc/Qv
D13×180	14.9 (7.7)	12.9 (2.7)	1.15 (2.85)
D22×180	23.7 (22.0)	14.9 (7.8)	1.60 (2.82)

3) 突起付H形鋼とコンクリートの一体化形式

突起付H形鋼を使用した合成部材を、既に実用化されたものまたは提案されているものを含め、一体化形式別に分類して紹介する [40]。

① コンクリート被覆形（埋込形）… SC梁、合成床版橋、SC柱

鋼材がコンクリートに埋め込まれたもので、一体化形式は基本的に異形棒鋼と同じ。しかしながら、異形棒鋼に比べて鋼材断面比が大きくなるので、十分な付着強度を保证するためには鋼材表面の突起も大きくなり、その結果、ひびわれ分散性や鋼材が降伏後の部材としてのじん性などに注意を要する。（図-3.3.4 参照）

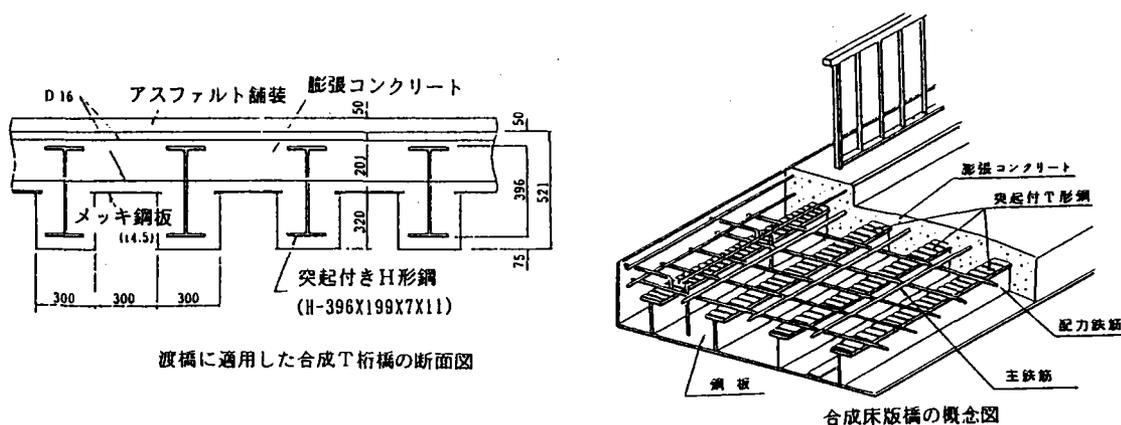


図-3.3.4 コンクリート被覆形合成部材の使用例

② 片面鋼材コンクリート合成形 … 合成梁（桁）、合成床版

通常の合成桁のように、コンクリート部材の上または下面がずれ止めを介して鋼材と結合した形式。鋼材の突起の役目は、スタッドに代表される機械式ずれ止めを不要とするか、あるいはその本数を削減することで施工の省力化が図れることと、疲労強度が向上することである。(図-3.3.5 参照)

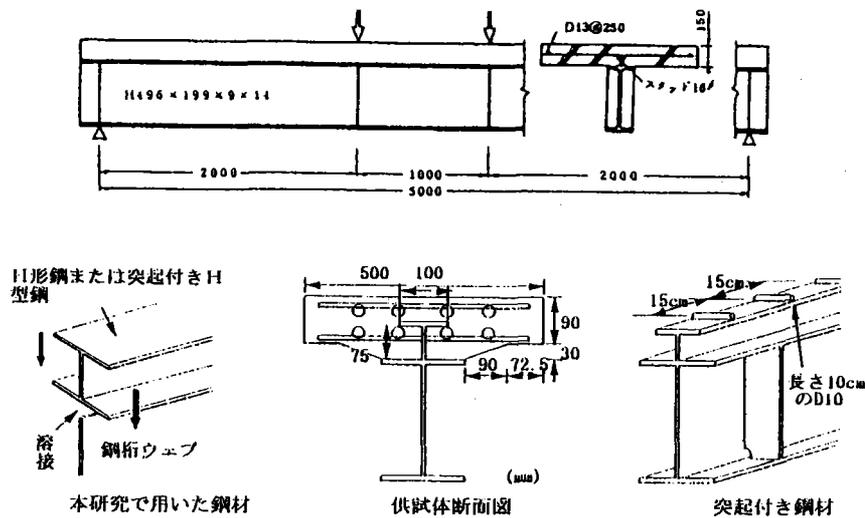


図-3.3.5 片面鋼材コンクリート合成形の使用例

③ 混合形 … プレベーム

一つの断面の中で鋼部分とコンクリート部分が共存する形式。

(2) 種々の合成部材に対する主な実験の紹介

1) 突起付きH形鋼を膨張コンクリートで被覆したSC梁 … 文献 [33, 34]

膨張コンクリートを使用することで乾燥収縮の悪影響を軽減し、さらに、ケミカルプレストレスも導入できる利点がある。付着は摩擦力によって生じるのであり、コンクリートの収縮がその一要因と考えられることから、膨張コンクリートを使用することが有利となる。

文献 [33] では、突起付きH形鋼の軸方向と梁高さ方向に対する膨張分布とケミカルプレストレスについて、実験結果と仕事量の概念を用いて推定する方法が提案されている。

文献 [34] では、SC梁に用いる適切な単位膨張材量を得るために、梁の曲げ載荷実験が行われている。その結果、単位膨張材が $45\text{kg}/\text{m}^3$ 程度からケミカルプレストレスによる効果は顕著になり、さらに膨張材量を多くすると下フランジの応力はより小さくなるが最大ひび割れ幅には効果が少なくなっている。総合的に判断して単位膨張材量としては $45\sim 50\text{kg}/\text{m}^3$ が最適であるとされている。(図-3.3.6, 図-3.3.7 参照)

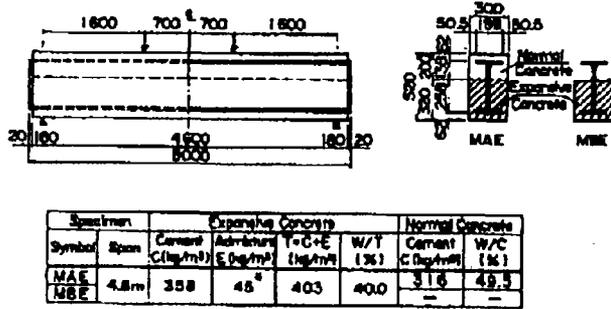


図3 異形膨張剤を用いた供試体の種類と形状

図-3.3.6 供試体の形状

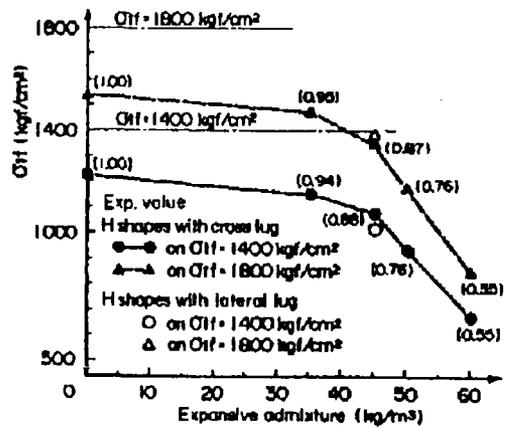


図7 下フランジの応力K及び寸単位膨張材量の影響

図-3.3.7 単位膨張材量の影響

2) 縞付きH形鋼 … 文献 [17, 37]

文献 [37] では、合成桁の疲労特性を把握するため、押抜き試験と桁試験が行われている。疲労試験では縞付きH形鋼の突起の効果は低応力振幅となる程、また、スタッド間隔の粗い程大きくなる結果となった。スタッド間隔 150 mm では 2~7 倍、600 mm では 5~400 倍に疲労寿命が向上したとされている。(図-3.3.8 参照)

また、桁試験からは、突起形成面に作用するせん断応力が $\tau_{max} = 14 \text{ kgf/cm}^2$ 程度以下であればスタッドを併用しなくても 200 万回の繰り返しに耐えられる結果となったとされている。

文献 [17] では、縞付きH形鋼をRC部材中に埋め込んだ根巻き型混合構造接合の曲げせん断実験が行われている。その結果、接合部RCのせん断耐力は、普通H形鋼の場合より約 13% 向上したと報告されている。(図-3.3.9 参照)

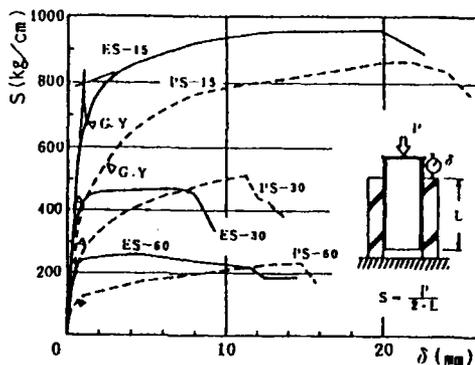


図3 荷重～変位関係

図-3.3.8 押抜き試験結果

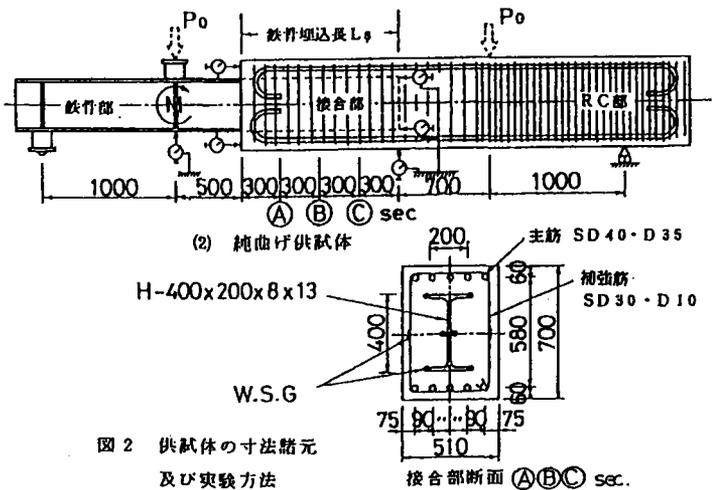


図2 供試体の寸法諸元及び実験方法

図-3.3.9 混合構造接合部の実験

収集文献一覧表 (3. 3. 1 突起付H形鋼を使用した合成部材)

- "1, 上中宏二郎、鬼頭宏明、上平謙二、園田恵一郎, 頭付きスタッドを併用した突起付き鋼板の付着せん断特性に対する試験法の比較, 第53回土木学会年次学術講演会, 1998年10月01日"
- "2, 光川直宏、浜田純夫、高海克彦, 付着を基本としたずれ止めを持つ合成桁の実験的研究, 第51回土木学会年次学術講演会, 1996年09月01日"
- "3, 橋本修身、末田明、三島徹也、篠田佳男, 突起付き鋼板の引き抜き耐荷性能, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "4, 井上道雄、小畑誠、柳原伸裕、後藤芳顯, 付着型アンカーボルトの引き抜き耐力におよぼす縁端距離の影響, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "5, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中島一男, 側圧を制御した引抜試験による突起付き鋼板の付着特性, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995年09月01日"
- "6, 園田恵一郎、鬼頭宏明、谷口幸之, 突起付鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日"
- "7, 谷平勉, 縞付きH鋼の突起面上に打設されたコンクリートの押抜き試験, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993年09月01日"
- "8, 園田恵一郎、鬼頭宏明、浜本雄司, 鋼板・コンクリート合成板における鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "9, 佐藤政勝、田中祐人、金子忠男, 突起付鋼材を用いた合成構造の設計法に関する提案, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "10, 園田恵一郎、鬼頭宏明、中前潔, 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, 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "11, 池信秀明、能町純雄, コンクリート・鋼管構造の剛性に与える鋼管表面形状の実験的考察(2)(鋼材表面の防食層がコンクリート付着力に及ぼす影響), 第46回土木学会年次学術講演会, 1991年09月01日"
- "12, 井上雅夫、谷平勉、萩森敏貴、神原康樹, 縞付きフランジに溶植された各種スタッドの押し抜き試験, 第45回土木学会年次学術講演会, 1990年09月01日"
- "13, 吉田康樹、北田俊行、中井博、才村幸生, 突起付鋼板を用いた合成柱の鋼板からコンクリートへの応力伝達挙動について, 第44回土木学会年次学術講演会, 1989年10月01日"
- "14, 井上肇、山川純雄、三好博嗣, コンクリート充填による異径鋼管重ね継手の強度と剛性, 第31回土木学会年次学術講演会, 1976年10月01日"
- "15, 池田他, 鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 土木学会, 1989年03月01日"
- "16, 田中 祐人, 佐藤 政勝, 突起付T形鋼を用いた斜合成床版橋の構造特性と設計法, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日"

- "17, 高田 啓一, 加藤 勉, 坂本 傑, 大竹 章夫, 表面に突起を有するH形鋼を用いた混合構造接合部の力学的性状, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日"
- "18, 北田 俊行, 中井 博, 才村 幸生, 吉田 泰樹, 突起付鋼板とコンクリートとの境界面の付着挙動および付着強度に関する実験的研究, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989年09月01日"
- "19, 園田恵一郎, 突起付き鋼板の付着特性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "20, 長山 秀昭, 突起付き鋼板を用いたSC構造はりの曲げ特性およびひびわれ分散性に関する実験的研究, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1995年11月01日"
- "21, 井上末富, 山本昇, 南宏一, 内面高突起付鋼管と充填コンクリートの付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1993年11月01日"
- "22, 大内一, 水田富久, 市田博康, 小島克朗, 鋼管・コンクリート複合構造高橋脚模型の水平加力試験, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "23, 三瓶昭彦, 内田和宏, 佐々木仁, 松戸正士, 高強度無収縮モルタルを用いた鋼管継手に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "24, 清宮理, 木村秀雄, 形鋼によるずれ止めの力学特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1996年11月01日"
- "25, 松尾栄治, 光川直宏, 浜田純夫, 付着を期待した合成ばりの疲労強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1997年11月01日"
- "26, 平陽兵, 天野玲子, 大塚一雄, 孔あき鋼板ジベルの疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1997年11月01日"
- "27, 上中宏二郎, 鬼頭宏明, 上平謙二, 園田恵一郎, 突起付鋼板に頭付スタッドを併用した場合の付着せん断特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "28, 平陽兵, 古市耕輔, 山村正人, 冨永知徳, 孔あき鋼板ジベルの基本特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "29, 西海健二, 冨永知徳, 室井進次, 古市耕輔, 拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1998年11月01日"
- "30, 佐藤政勝, 石渡正夫 (川崎製鉄), [92]平鋼および突起付鋼材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, 1980年"
- "31, 富井政英, 吉村浩二, 森下陽一 (九州大学), [93]コンクリート充填円形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工学年次講演会論文集, 1980年"
- "32, 富井政英, 吉村浩二, 森下陽一 (九州大学), [94]コンクリート充填正方形および正八角形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工

- 学年次講演会論文集, 1980年”
- ”33, 辻幸和 (群馬大学)、佐藤政勝 (川崎製鉄), [72] 異形H形鋼の拘束を受ける膨張コンクリートの膨張特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”34, 石渡正夫、佐藤政勝 (川崎製鉄)、辻幸和 (群馬大学), [73] 異形H形鋼を膨張コンクリートで被覆したSCばりの力学的特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”35, 佐藤政勝、加藤親男、三好弘高 (川崎製鉄), [74] 縞鋼板にコンクリートを充填した合成鋼管の力学特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年”
- ”36, 鬼頭宏明、上中宏二郎、園田恵一郎 (大阪市大), オープンサト・I形鋼・コンクリート合成はりにおける突起付き鋼材のせん断付着特性, 構造工学論文集 Vol. 44A, 1998年03月01日”
- ”37, 大竹章夫、高田啓一, 突起付きH形鋼を用いた合成桁の疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, 1987年”
- ”38, 三浦尚、瀬本浩史, RC及びSRC部材に発生する最大ひびわれ幅に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 11-2, 1989年”
- ”39, 佐藤政勝、石渡正夫、近藤伸治、山中栄輔, 条溝突起付H形鋼を用いた鉄骨コンクリート部材の構造特性とその応用, 川崎製鉄技報, 1980年”
- ”40, 土木学会構造工学委員会、鋼・コンクリート複合構造研究小委員会, 合成構造用鋼材の利用に関する調査研究報告書, , 1993年03月01日”
- ”41, 日本コンクリート工学協会, 混合構造研究委員会報告書, , 1991年12月01日”
- ”42, 上平・蛭名・高橋・柳下, パーフォボンドリブのせん断耐力に関する基礎的研究, 第1回鋼橋床版シンポジウム論文集, 1998年”

3. 3. 2 コンクリート充填鋼管

(1) コンクリート充填鋼管に関する文献検索

コンクリート充填鋼管に関する文献により検索される文献は、①鋼管とコンクリートとの付着に関する文献、②コンクリートを充填した異形鋼管の重ね継ぎ手に関する文献、③コンクリート充填鋼管を使用した構造物を対象とした検証実験に関する文献、の3種類に大別される。ここでは、本研究部会のテーマである①の鋼管とコンクリートとの付着を取り扱った文献を対象として紹介する。

コンクリート充填鋼管柱の鋼管とコンクリート間の付着性状を取り扱った文献には、(a)荷重が小さい時の両者の付着特性を調べた論文と、(b)付着が切れる時の荷重を使用して最大付着応力を求めた論文の2種類に分けられる。前者では、鋼管に貼り付けたひずみゲージの値を使用して鋼管とコンクリートとの付着応力を計算し、後者では最大荷重を付着面積で除することにより最大付着応力を算出している。

(2) 弾性挙動時の付着応力

弾性挙動時の付着応力については文献[13]、[14]、[16]、[17]に示されている。

文献[13]では円形鋼管柱を対象とし、また文献[14]では四角形鋼管柱と正八角形鋼管柱を対象として鋼管とコンクリート間の付着応力を調べている。両者はともに長さ 735 mm の鋼管柱を使用した押抜き試験の結果を整理したものであり、普通鋼管と縞鋼板を使用した鋼管の2種類に対してそれぞれ普通コンクリートと膨張コンクリートを充填した場合について、鋼管柱頭部のひずみが 3×10^{-4} 、 6×10^{-4} 、 9×10^{-4} の3ケースについて付着応力を計算している。このときの鋼管の軸力方向圧縮ひずみ分布を図-3.3.10に、実験から求められた付着応力を表-3.3.5にそれぞれ示す。付着応力は圧縮ひずみ分布の勾配

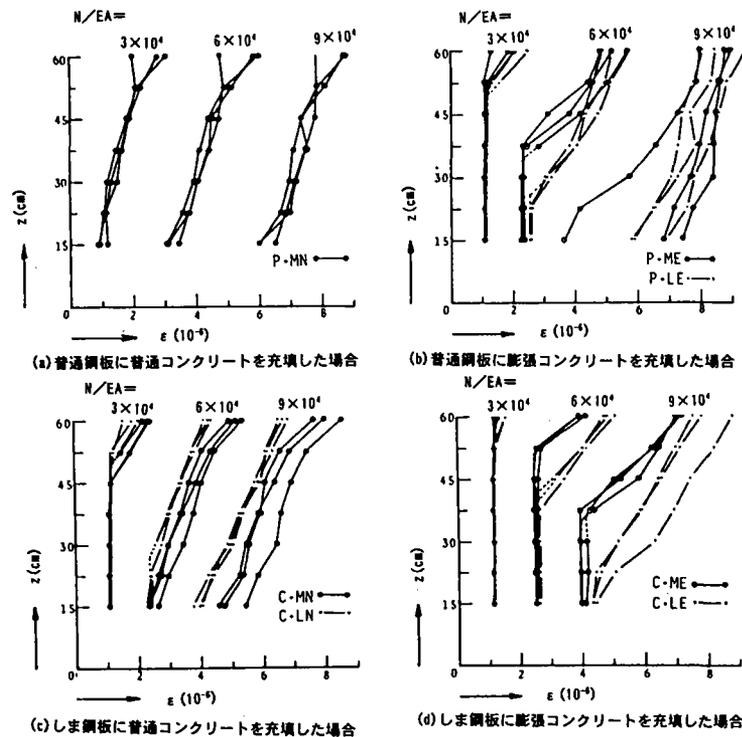


図-3.3.10 鋼管の軸力方向ひずみ分布

表-3.3.5 弾性挙動時の付着応力

(単位: kgf/cm^2)

実験条件	円形鋼管柱	四角形鋼管柱	正八角形鋼管柱	備考
普通鋼管	2~4	1~2	1~2	
同上+膨張コンクリート	4~7	2~4	4~6	相対ずれ量小
〃	2~4	1~2	-	相対ずれ量大
縞鋼板を使用した鋼管	4~6	2~5	3~6	
同上+膨張コンクリート	5~10	4~6	5~8	相対ずれ量小
〃	4~6	-	-	相対ずれ量大

で計算され、ひずみ変化が局部的な場合にはその範囲について付着応力を計算している。

図より普通鋼板で柱頭部のひずみが 3×10^{-4} と小さい場合には、普通コンクリートを充填した時には全部材長にわたって一様なひずみ変化を示すが、膨張コンクリートを使用した場合には付着応力が2倍程度と大きく、狭い範囲で鋼管から充填コンクリートへと力が伝達している。しかし、柱頭部のひずみが 9×10^{-4} と大きくなると、膨張コンクリートを充填した場合でも普通コンクリートを使用した場合と同様に鋼管の全長にわたり同程度の付着応力で鋼管から充填コンクリートへと力を伝達するようになる。

縞鋼板を使用した場合には、柱頭部のひずみが 3×10^{-4} と小さい範囲では、普通コンクリート・膨張コンクリートの各々に対して普通鋼管を使用した場合の2倍程度の付着応力となっている。そのため、普通コンクリートを使用した場合でも、鋼管と充填コンクリートの間の付着による応力伝達は局所的となる。また柱頭部のひずみが 9×10^{-4} と大きくなると、普通鋼板を使用した場合と同様に両者とも鋼管の全長にわたり同程度の付着応力で鋼管から充填コンクリートへと力を伝達するようになる。

文献[16]では $150 \times 150 \times 4.2$ で長さ 910mm の角形鋼管柱に一定軸力を載荷した状態でせん断力を交番載荷して、短期荷重としてせん断力を作用させた場合の鋼管とコンクリートの付着応力を求めている。試験装置(加力装置)を図-3.3.11に示す。実験では、柱頭で鋼管のみに軸圧縮力を作用させ、柱脚部では鋼管とコンクリートの両方で支持している。鋼管に作用する軸力は、鋼管の中心圧縮耐力の4%とした低軸力の場合と、充填コンクリートの耐力の50%とした高軸力の場合の2ケースとし、せん断力を交番載荷させながら部材角の変化が2%になるまで載荷している。その結果、平均付着応力はせん断力の繰返し載荷により大きく変化し、曲率が増えればその値も大きくなること、ならびに荷重履歴のせん断力除荷点での付着応力は共に $1.5 \sim 3.5\text{kgf/cm}^2$ の範囲で、軸力のみを載荷した場合よりも多少大きな値となることが示されている。

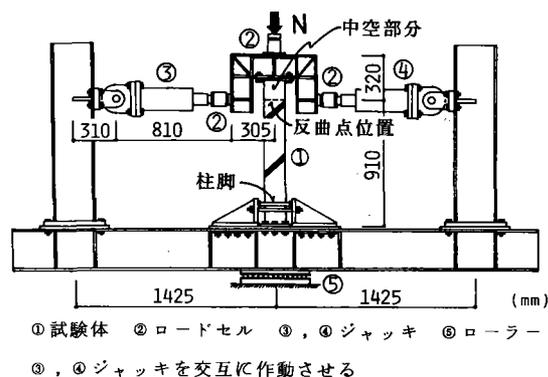


図-3.3.11 試験装置(加力装置)

文献[17]では文献[16]と同じ角形鋼管柱を使用して、コンクリートの強度と載荷荷重強度をパラメータとして一定軸力と繰り返しせん断力を加えて実験が行われている。その結果、①平均付着応力はせん断力の繰り返し回数により大きく変化すること、②荷重履歴のせん断力除荷点での平均付着応力は低軸力の場合でおよそ $1.5 \sim 3.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、高軸力の場合でおよそ $1.5 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ となること、③コンクリートの圧縮強度による影響はほとんど見受けられないことが示されている。

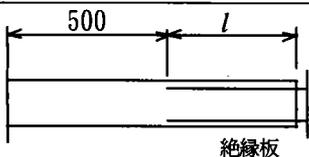
(3) 最大付着応力

次に、鋼管とコンクリートの付着が切れる最大荷重を両者の接触面積で除する事によって得られる最大付着応力を求めている(b)の論文について考察する。

文献[9]では外形 609.6ϕ と 269ϕ の2種類の STK400 の鋼管に $\sigma_{28} = 342 \text{ kgf/cm}^2$ のコンクリートを充填した供試体を使用して押抜き試験を行い、最大付着応力として外形 609.6ϕ の場合で 3.9 kgf/cm^2 、 269ϕ の場合で 8.1 kgf/cm^2 を得ている。このことから、鋼管の径が大きくなるにつれて最大付着応力が小さくなるのがわかる。

文献[7]では $\phi 165.2 \times 4.5$ の鋼管に鉄筋籠を挿入し圧縮強度 $\sigma_{28} = 635 \text{ kgf/cm}^2$ のモルタルを充填した表-3.3.6 に示すコンクリート充填鋼管柱を使用して引き抜き試験と繰り返し載荷試験を行い、定着長を変化させたときの付着応力を調べている。その結果、定着長が長くなるにつれて最大荷重を付着面積で除した最大付着応力は 26 kgf/cm^2 、 20 kgf/cm^2 、 19 kgf/cm^2 と単調に減少した。このことから、定着長が短い場合には全長が有効に付着応力に寄与するが、長くなると付着応力に関与しない部分が存在することがわかる。また、繰り返し載荷による性能低下は見受けられなかった。

表-3.3.6 付着試験供試体

供試体	本数	供試体概要	鉄筋本数	繰り返し載荷有無
				
A	1	$l = 200$	D10-10本	なし
B	1	$l = 400$	D10-14本	なし
BN	1	$l = 400$	D10-14本	$0.5P \pm 0.25P; 10^5$ 回
CN	1	$l = 600$	D10-18本	$0.5P \pm 0.25P; 10^5$ 回
AS	1	$l = 200$	D22-5本	なし

文献[18]では遠心力鋳鋼管と充填コンクリートの付着特性を調べるために、コンクリート強度・鋼管径・充填長さをパラメータに押し抜き実験を行っている。

コンクリート強度 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ とし、鋼管径を 300ϕ 、 500ϕ 、 700ϕ と変化させてずれ耐力・ずれ剛性を比較すると、ずれ耐力については $40 \text{ kgf/cm}^2 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で鋼管径による違いは顕著には見受けられないが、ずれ剛性では 300ϕ と鋼管径が小さい場合には $50 \text{ kgf/cm}^2 \text{ mm}$ となり鋼管径が大きい場合の $20 \sim 22 \text{ kgf/cm}^2 \text{ mm}$ のずれ剛性に対して2倍程度の値となっている。また、充填長の違いによるずれ耐力・ずれ剛性の比較では、ばらつきが大きいものの、充填長が長くなれば両者ともに低

下する傾向が見受けられた。

次に、コンクリート強度を変化させた場合の最大付着応力を次に示す。

$$\sigma_{ck} = 150 \text{ kgf/cm}^2 \quad : \quad 26.9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2 \quad : \quad 43.3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2 + \text{膨張コンクリート} \quad : \quad 52.7 \text{ kgf/cm}^2$$

しかし、本実験では内面の粗度により実験結果に大きなばらつきが見受けられる。

最後に、縞鋼板を使用した鋼管柱によるコンクリート充填鋼管柱の最大付着応力について考察している文献[10]と[15]について考察する。

文献[10]では鋼管とコンクリートの付着性能の向上と、付着応力の長期的な安定性の確保を狙いとして、突起高さ 6mm 突起間隔 5mm の突起付鋼板を使用した角形ならびに円形の鋼管と充填コンクリートとの静的載荷ならびに繰り返し載荷時の付着性能を調べている。その際事前検討として、最適な突起高さや突起間隔を得るために、図-3.3.12 に示す押し抜き試験を行い、図-3.3.13 に示した結果を参照して突起付鋼板の諸元を決定している。その結果、鋼管の径/厚比が大きくなるに従って最大付着応力が低

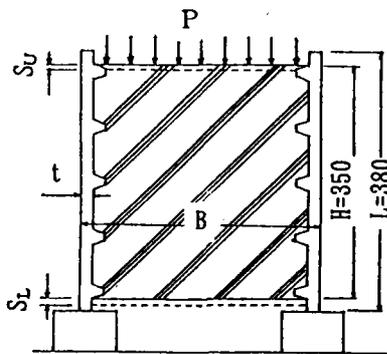


図-3.3.12 押し抜き試験

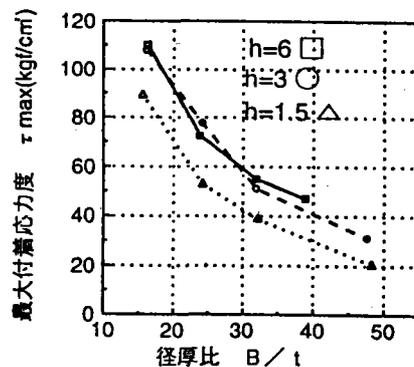


図-3.3.13 τ_{\max} と B/t の関係

下すること、コンクリートの圧縮強度が大きくなるに従い付着応力が大きくなること、円形鋼管は角形鋼管に比較して2倍以上の付着応力を有することが示されている。また、最大付着応力評価式として次式を提案している。

$$\text{角形鋼管} \quad : \quad \tau_{\max} = \sqrt{\sigma_B} [0.40 + 96.07(t/B)]$$

$$\text{円形鋼管} \quad : \quad \tau_{\max} = \sqrt{\sigma_B} [2.79 + 163.3(t/B)]$$

ここに、 σ_B : コンクリートの圧縮強度、 t 、 B : それぞれ鋼管の厚さと径である。

文献[15]では、図-3.3.14 に示す突起高さ 1.5mm、2.7mm とした2種類の縞鋼板を用いたφ600×9鋼管を使用し、 $\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ のコンクリートを 300mm の長さで充填した供試体を使用した静的押し抜きせん断実験、押し抜きせん断疲労実験ならびに単純曲げ載荷実験結果について報告している。

静的載荷実験結果から、突起高さが 1.5mm の場合で最大付着応力が 49.4 kgf/cm^2 、2.7mm の場合で 55.6 kgf/cm^2 と、平鋼板の場合の 3.8 kgf/cm^2 と比較して大きな付着耐力があることがわかった。

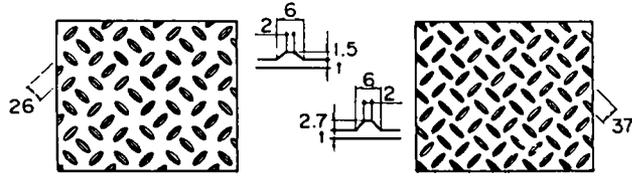


図-3.3.14 旧縞および新縞鋼板の突起形状と寸法

荷に耐える最大付着強度は前者で 26 kgf/cm^2 後者では 36 kgf/cm^2 となり、それぞれ静的最大付着強度の 53%、65%と非常に高い値となることが示された。また、単純曲げ載荷実験から、縞鋼板を使用した合成鋼管柱の終局時の曲げ耐力で鋼管の 1.5 倍、曲げ剛性で 1.4 倍となることが示されている。

(4) 考察

コンクリート充填鋼管柱を構造物に使用する場合、鋼管とコンクリートが協同して外力を受けることは少なく、鋼管が最初に外力を受けてその後コンクリートも含めた合成断面で荷重に抵抗するケースが大半である。本節で参照した文献においても、外側の鋼管に荷重を作用させて鋼管とコンクリートとの付着性状を調べたものがほとんどである。

このような実験では、鋼管に圧縮力が作用すると、ポアソン効果により鋼管はコンクリートから離れる方向に挙動する事になる。すなわち、鋼管とコンクリート間に負の側圧が作用することになり、付着抵抗を減少することになる。文献 [13]、[14] では鋼管柱頭部のひずみが 3×10^{-4} 、 6×10^{-4} 、 9×10^{-4} の 3 ケースについて付着応力を求めているが、これは鋼材のポアソン比を $1/3$ とすると断面方向にひずみ量で 1×10^{-4} 、 2×10^{-4} 、 3×10^{-4} 広がることになる。コンクリートのヤング係数を $3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ とすると 30 kgf/cm^2 、 60 kgf/cm^2 、 90 kgf/cm^2 側圧が減少していることを意味する。このことから、作用力による鋼管のひずみの状況により付着応力は変化し、作用力が大きくなると付着応力は減少するとともに全部材が均等に付着応力を受け持つことになる。

また鋼管中に充填したコンクリートは硬化する際に周方向に収縮現象を示す。これも鋼管とコンクリートとの間に負の側圧を及ぼす事になり付着応力を減少させる。これらの要因を考慮して、「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針（日本建築学会）」では鋼管内面の許容付着応力を表-3.3.7 のように設定している。

表-3.3.7 許容付着応力度 (kgf/cm^2)

断 面	長 期	短 期
円形鋼管	1.5	2.25
角形鋼管	1.0	1.5

また、突起付鋼管を使用した場合には、平均付着応力と最大付着応力について次の値としている。

平均付着応力度 12 kgf/cm^2
 最大付着応力度 22 kgf/cm^2

収集文献一覧表 (3. 3. 2 コンクリート充填鋼管)

- "1, 佐藤政勝、田中祐人、金子忠男、突起付鋼材を用いた合成構造の設計法に関する提案, 第47回土木学会年次学術講演会, 1992年09月01日"
- "2, 野戸崇治、阪本謙二、山中和明、コンクリート充填鋼管柱の付着強度, 第45回土木学会年次学術講演会, 1990年09月01日"
- "3, 阿部英彦、脇田孝彦、湯田豊雄、好光新、遠心力鋳鋼管と充填コンクリートの付着に関する実験的研究, 第40回土木学会年次学術講演会, 1985年09月01日"
- "4, 渡辺昇、井上肇、加藤敏、コンクリート充填による異径鋼管重ね継手の強度と剛性, 第32回土木学会年次学術講演会, 1977年10月01日"
- "5, 井上肇、山川純雄、三好博嗣、コンクリート充填による異径鋼管重ね継手の強度と剛性, 第31回土木学会年次学術講演会, 1976年10月01日"
- "6, 池田他、鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 土木学会, 1989年03月01日"
- "7, 関谷 進、広尾 巖、竹内修始、永見 晴彦、小林征紀、田淵敦彦、鉄筋入りコンクリート充てん鋼管柱材(RMC材)の基礎的研究, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年09月01日"
- "8, 日本鋼構造協会、スタッド類の設計施工と合成構造, JSSC, 1983年03月"
- "9, 佐藤政勝、田中祐人、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, コンクリート工学年次論文報告集, 1993年11月01日"
- "10, 井上末富、山本昇、南宏一、内面高突起付鋼管と充填コンクリートの付着特性, コンクリート工学年次論文報告集, 1993年11月01日"
- "11, 大内一、水田富久、市田博康、小嶋克朗、鋼管・コンクリート複合構造高橋脚模型の水平加力試験, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "12, 三瓶昭彦、内田和宏、佐々木仁、松戸正士、高強度無収縮モルタルを用いた鋼管継手に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 1995年11月01日"
- "13, 富井政英、吉村浩二、森下陽一(九州大学)、コンクリート充填円形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工学年次講演会論文集, 1980年"
- "14, 富井政英、吉村浩二、森下陽一(九州大学)、コンクリート充填正方形および正八角形鋼管柱の鋼管と充填コンクリート間の付着性状の改善法に関する実験的研究, 第2回コンクリート工学年次講演会論文集, 1980年"
- "15, 佐藤政勝、加藤親男、三好弘高(川崎製鉄)、縞鋼板にコンクリートを充填した合成鋼管の力学特性, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年"
- "16, 富井政英(九州大学)、森下陽一(琉球大学)、崎野健治、川野浩一(九州大学)、[75]角形鋼管の充填コンクリートに対する柱短期荷重時の付着強度, 第3回コンクリート工学年次講演会論文集, 1981年"
- "17, 森下陽一(琉球大学)、富井政英(九州大学)、柱短期荷重時における角形鋼管と充填コンクリート間の付着性状, 第4回コンクリート工学年次講演会論文集, 1982年"
- "18, 脇田孝彦、湯田豊雄(久保田)、阿部英彦(宇都宮大学)、遠心力鋳鋼管と充填コンクリートの付着に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 32A, 1986年03月01日"
- "19, 保坂鐵矢(鉄建公団)、中村俊一、西海健治(新日鐵)、鋼管桁の曲げ耐力およびRC床版とのずれ止めに関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 43A, 1997年03月01日"
- "20, 篠崎裕生、三上 浩、岡本 隆、水谷慎吾、鋼管を用いた合成構造橋脚定着部の耐荷性状, コンクリート工学年次論文報告集 vol. 18, No2, 1996年"

3. 4 まとめ

キーワードによる文献の再整理により、平鋼・H形鋼・突起付き鋼板といった基礎的な付着メカニズムと、実構造物を対象とした突起付きH形鋼・コンクリート充填鋼管について研究を行った。基礎的な付着メカニズムについては十分に解明されているとは言い難いが、以下の知見を得ることが出来た。

- 1) 鋼とコンクリートの付着強度は、粘着力と摩擦力の和であるが粘着力は非常に小さく考慮しないほうが合理的である。
- 2) 鋼とコンクリートの付着強度は、多くの影響因子があるが、摩擦と側圧の作用に起因する。
- 3) 突起付き鋼板の付着力は突起に働く支圧力と、鋼板とコンクリートの摩擦力の和である。

また、突起付きH形鋼、コンクリート充填鋼管については検索されたそれぞれの文献より次のようにその付着特性をまとめることが出来た。

- 1) 突起付きH形鋼と通常のH形鋼の付着強度を比較すると、 $\delta = 0.05\text{mm}$ と相対変位量が小さい範囲で4~5倍程度、最大付着強度で10倍程度と突起付きH形鋼の付着強度が大きくなる。
- 2) 合成鋼管柱は、鋼管中にコンクリートを充填して使用するため耐力が大きな部材であるが、コンクリートの収縮や通常鋼管に外力が作用されるため鋼管とコンクリートは剥離する方向の力を受け、鋼とコンクリートの間の付着力は1~2kg/cm²程度と小さな値となる。