

(13) スタッドの押抜き挙動に及ぼす影響因子に関する基礎的研究

撰南大学工学部○平城弘一
大阪工業大学 栗田章光
大阪工業大学 赤尾親助

1. まえがき

最近のスタッドの利用範囲は、橋梁あるいは建築構造の合成桁（梁）にとどまらず、図1のような種々の合成構造に拡大されつつある。スタッドの押抜き挙動に与える影響因子は、合成桁の場合に比べ、広範囲に及ぶと予想される。したがって、主に合成桁を対象とした既往の研究成果を各種合成構造に用いられるスタッドの強度評価に直接適用するには、因子が限定されているため問題点が残る。またスタッドの試験方法が未だ確立されていないため、試験結果のばらつきが大きいことも指摘されている。

本研究は、スタッドの押抜き強度に及ぼす種々の要因の影響度を解明しようとするものである。本文は次のような影響因子について実施された静的および疲労の押抜き試験結果(計140体)を述べるものである。

- ① コンクリートの打込み方向、
- ② 鋼とコンクリートの接触面へのコンクリートの充てん性の良否、
- ③ スタッド支圧面の空隙状態、
- ④ スタッドの余盛り形状、
- ⑤ スタッドの配置、
- ⑥ スタッドの取り付け位置、
- ⑦ コンクリート内の補強筋の有無、
- ⑧ 試験時のコンクリートスラブの拘束の程度、
- ⑨ スタッドを溶接する鋼板の厚さ、
- ⑩ 鋼板の塗装。

2. 試験の種類と目的および試験方法

試験は大別して12シリーズに分けられた(図3～8)。押抜き供試体の形状寸法を図2に示す。使用したスタッドの形状寸法、およびコンクリートの配合と特性値を表1に示す。

2.1 シリーズ1

コンクリートの打込み方向が静的および疲労押抜き

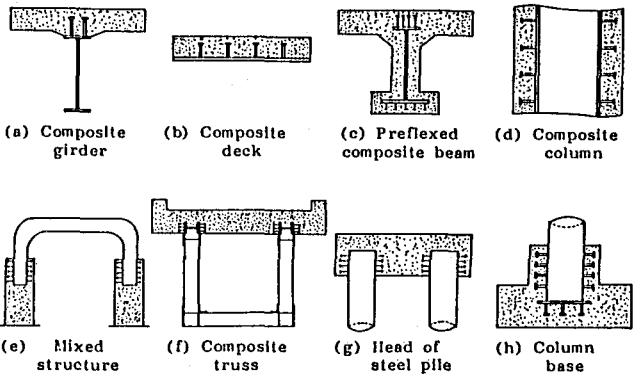


図1 各種合成構造へのスタッドの適用例

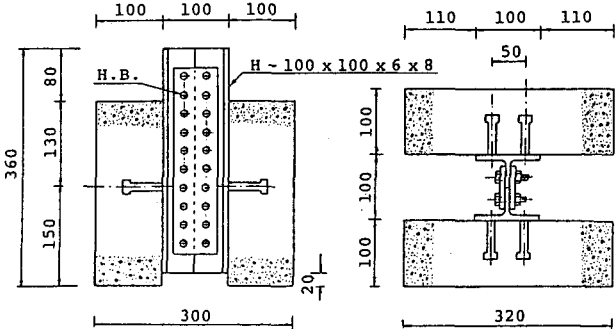


図2 押抜き供試体の形状寸法

表1 スタッドの形状寸法およびコンクリートの特性値

Series	Stud			Mix Proportions			Properties of Concrete	
	H (mm)	d (mm)	H/d	Max. Aggre. (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Strength σ_c (kg/cm ²)	Young's Modulus E_c (x10 ⁴ kg/cm ²)
1,2,3,4	65	13	5.00	15	51	45.3	272	20.0
5,6,7,8,9 (Static)	65	13	5.00	15	51	45.3	252	19.3
5,6,7,8,9 (Fatigue)	65	13	5.00	15	51	45.3	292	21.7
10,11,12	65	13	5.00	15	51	45.3	332	23.2

Series	Type	Placing direction of concrete
1	A	
	B	
	C	

図3 押抜き供試体の種類（シリーズ1）

強度に与える影響についてはすでに明らかにされている¹⁾。本試験はシリーズ2、3との比較のために実施されたものである。図3のようにコンクリートの打込み方向を変えることより、コンクリートの充てん性の良否および異なった位置にブリーディングが生じる。

2.2 シリーズ2、3

シリーズ2の供試体は鋼とコンクリートの接触面へのコンクリートの充てんの悪さを人工的に再現するため、鋼板表面の全面あるいはスタッド根元部にみに多孔質な材料である包装用ウレタン（厚み：0.7mm）を張付け、コンクリートを打設して製作されたものである。この試験より接触面に観察されるシリーズ1のBタイプのようなコンクリートの充てんの不十分さが近似できると考えられる。試験結果はシリーズ1のA、Bタイプと比較される。

シリーズ3の供試体はスタッド支圧面のブリーディングによる空隙を人工的に再現するため、スタッドの支圧面全面あるいは支圧面の半分（スタッド全高の）のみにシリーズ2と同質のウレタンを張付け、コンクリートを打設して製作されたものである。シリーズ1のCタイプのようなスタッド支圧面に自然発生する空隙はこのような試験により近似できるものと考えられる。試験結果はシリーズ1のA、Cタイプと比較される。

2.3 シリーズ4

スタッドの余盛り形状が静的押抜き強度に影響を与えることはすでに明らかにされている²⁾が、本試験のように、スタッドの余盛り形状による疲労押抜き強度への影響度について明らかにした研究はないと思われる。試験には、スタッドの余盛り高さがほぼ4mmであったので、余盛り高さを2mmに整形、あるいは完全に除去された2種類のタイプが用意された。これらの結果はシリーズ1のAタイプと比較される。

Series	Type	Artificial voil ^{*)}
2	D1	Local contact surface a=10mm (only surrounding of stud)
	D4	Full contact surface
3	D2	Local bearing surface (only half of overall height)
	D3	Full bearing surface

*) Placing direction of concrete: A Type
Series 2: Model of incomplete compaction of concrete,
Series 3: Model of bleeding on the bearing surfaces of studs.

図4 押抜き供試体の種類（シリーズ2、3）

Series	Type	Sketch	Comment
4	A		Studs with a Usual Weld Collar (Standard Type), the same Specimen as Series 1, Type A.
	B		Studs arranged a Weld Collar; a = 2 mm, Height of Usual Weld Collars was about 4 mm.
	C		Studs without a Weld Collar.

図5 押抜き供試体の種類（シリーズ4）

2.4 シリーズ5～7

スタッドの配置と間隔が静的押抜き強度に及ぼす影響については、すでに明らかにされている³⁾が、これらの研究の中でも、配列は横と縦の2種類のものが多く、斜め配列のものを取り扱った研究が少ない⁴⁾。本研究では横(シリーズ5)、縦(シリーズ6)および斜め(シリーズ7)配列について、各々の間隔および角度を3種類変化させて試験を実施し、シリーズ5のBタイプを標準タイプとした。

2.5 シリーズ8、9

各国の既往の研究で用いられた押抜き供試体の形状寸法およびコンクリートの補強方法は、イギリスを除いては、スタッドの試験方法が標準化されていないため、研究者によってばらばらである。当然、試験結果のばらつきも大きい。

シリーズ8はスタッドの取り付け位置を変化させた試験である。つまり、鋼とコンクリートの接触部分の中央にスタッドを取り付けた標準タイプ(シリーズ5のBタイプ)に対して、極端にその接触部分の下部あるいは上部にスタッドを取り付けた2種類のタイプが比較される。

シリーズ9はコンクリートの補強方法を変えた試験である。供試体は無筋、スタッド近傍のスパイラル筋、横一本および十字筋に分かれる。これらの結果はシリーズ5のBタイプ(標準)と比較される。スパイラル筋の研究は西ドイツでのみ行われている⁵⁾。

Series	Type	Sketch	Comment
5	A		Arrangement of Studs; Transverse Distance of Studs : $g = 30\text{mm}$.
	B		Arrangement of Studs; Transverse Distance of Studs : $g = 50\text{mm}$, (Standard Type).
	C		Arrangement of Studs; Transverse Distance of Studs : $g = 70\text{mm}$.
6	(A)		Arrangement of Studs; Longitudinal Distance of Studs : $p = 30\text{mm}$.
	(B)		Arrangement of Studs; Longitudinal Distance of Studs : $p = 50\text{mm}$.
	(C)		Arrangement of Studs; Longitudinal Distance of Studs : $p = 70\text{mm}$.
7	(A)		Arrangement of Studs; Skew : $g = 50\text{mm}$, $p = 30\text{mm}$, Angle $\theta = 31^\circ$.
	(B)		Arrangement of Studs; Skew : $g = 50\text{mm}$, $p = 50\text{mm}$, Angle $\theta = 45^\circ$.
	(C)		Arrangement of Studs; Skew : $g = 50\text{mm}$, $p = 70\text{mm}$, Angle $\theta = 54^\circ$.

図6 押抜き供試体の種類(シリーズ5～7)

Series	Type	Sketch	Comment
8	A		Position of the Studs; the Under Part
	B		Position of the Studs; the Middle Part, (Standard Type) the same Specimen as Series 5, Type B.
	C		Position of the Studs; the Upper Part
9	(A)		Plain Concrete
	(B)		Reinforced Concrete (Standard Type) the same Specimen as Series 5, Type B.
	(C)		Only Spiral Reinforcement ($\phi 3\text{mm}$, Pitch:15mm, Height:80mm, $D = 30\text{mm}$)
	(D)		Only Transverse Reinforcement ($D 10\text{mm}$)
	(E)		Only Crossed Reinforcement ($D 10\text{mm}$)

図7 押抜き供試体の種類(シリーズ8、9)

2.6 シリーズ10～12

シリーズ10は押抜き試験時にコンクリートスラブの拘束度を变化させた場合の試験である。スラブの拘束の程度の違いがスタッドの静的耐荷力に影響を与えることはすでに明らかにされている⁶⁾。スラブの拘束度は、なし(Aタイプ)、軟(Bタイプ)および剛(Cタイプ)の3種類とした。Bタイプは標準タイプとして、A、Cタイプとの比較に使われた。BタイプとCタイプのつなぎボルトの直径はそれぞれ $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ でありボルトにはプレストレスが導入されていない。

シリーズ11はスタッドを溶接する鋼板の厚さおよびスタッド根元部の回転拘束を变化させて行った試験である。板厚は、5、8(標準タイプ)、15および25mmと变化させた。一方、スタッド根元部の回転はスタッド溶接位置の背面にリブを溶接することにより拘束した。板厚に関する既往の研究にはスタッドが軽量鉄骨に適用された場合の静的耐荷力を評価するために行われたものがある⁷⁾。本研究のように極厚の鋼板を用いた試験はないように思われる。

シリーズ12は鋼部フランジ面の塗装が押抜き強度に与える影響について明らかにするためのものである。なお、塗料は長油性フタル酸樹脂系のサビ止めと合成樹脂ペイントの2種類を使用した。いずれもハケによる2回塗りとした。

—シリーズ2～12でのコンクリートの打込み方向は、シリーズ1でのAタイプの方向とした(図3)。

—静的試験は、全シリーズとも50TON 万能試験機を用いて行った。載荷方法は反復荷重法とした。

—疲労試験は、全シリーズとも $\pm 10\text{TON}$ 油圧サーボ型疲労試験機を用いて行った。部分片振試験の荷重設定は下限荷重 0.5TONを一定とし、上限荷重を変えて行った。

3. 静的試験結果および考察

3.1 シリーズ1～3

スタッド一本当りの破壊および限界荷重を図9に示す。ここで、限界荷重とは残留ずれが0.075mmに達した時の荷重である。Bタイプの破壊荷重はAタイプの89%で、Cタイプの95%であり、またD1、D2タイプのほぼ中間に位置していた。Cタイプの限界荷重はAタイプの15%で、Bタイプの19%であり、D2、D3タイプの

Series	Type	Sketch	Comment
10	A		Clamp of the Concrete Slabs; none.
	B		Clamp of the Concrete Slabs; soft, Bolt: $\phi 5\text{mm}$ (Standard Type).
	C		Clamp of the Concrete Slabs; hard, Bolt: $\phi 25\text{mm}$.
11	(A)		Thickness of Flanges of H-Shaped Steel; $t = 5\text{mm}$.
	(B)		Thickness of Flanges of H-Shaped Steel; $t = 8\text{mm}$, (Standard Type), the same Specimen as Series 10, Type B.
	(C)		Thickness of Flanges of H-Shaped Steel; $t = 15\text{mm}$.
	(D)		Thickness of Flanges of H-Shaped Steel; $t = 25\text{mm}$.
	(E)		With Rib Plates H-Shaped Steel; $t = 8\text{mm}$, 4-rib pls 25 x 8 mm.
12	(A)		Paint of Contact Surface between Steel and Concrete; with Paint.
	(B)		Paint of Contact Surface between Steel and Concrete; without Paint, the same Specimen as Series 10, Type B.

図8 押抜き供試体の種類(シリーズ10～11)

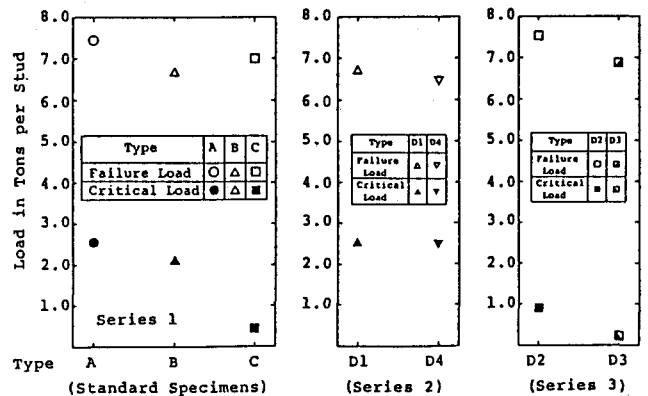


図9 シリーズ1～3の破壊および限界荷重

間にあった。

3.2 シリーズ5～7

スタッドの横、縦および斜め配列の結果を図10に示す。横配列の破壊荷重は間隔にほぼ比例していた。縦配列の破壊荷重は間隔にわずかに比例していた。斜め配列の破壊荷重は角度に関係していなかった。限界荷重は横、縦および斜め配列において差異がなかった。

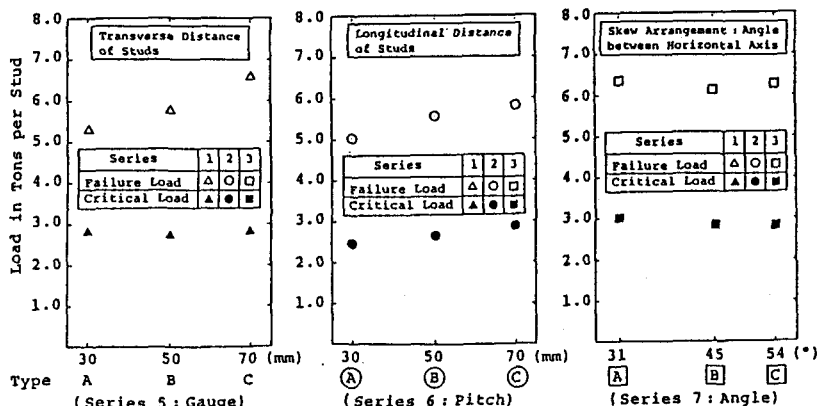


図10 シリーズ5～7の破壊および限界荷重

3.3 シリーズ8、9

スタッドの取り付け位置とコンクリート内の補強筋の結果を図11に示す。

シリーズ8では鋼とコンクリートの接触部分の上部にスタッドを取り付けたCタイプの破壊荷重はA、Bタイプの約1.29倍であった。限界荷重は各タイプともほぼ同一な値を示した。

シリーズ9では無補強(Aタイプ)の破壊荷重が標準(Bタイプ)、スパイラル筋(Cタイプ)、横一本(Dタイプ)および十字筋(Eタイプ)に比べ最も高かった。限界荷重は各タイプともほぼ同一な値を示した。

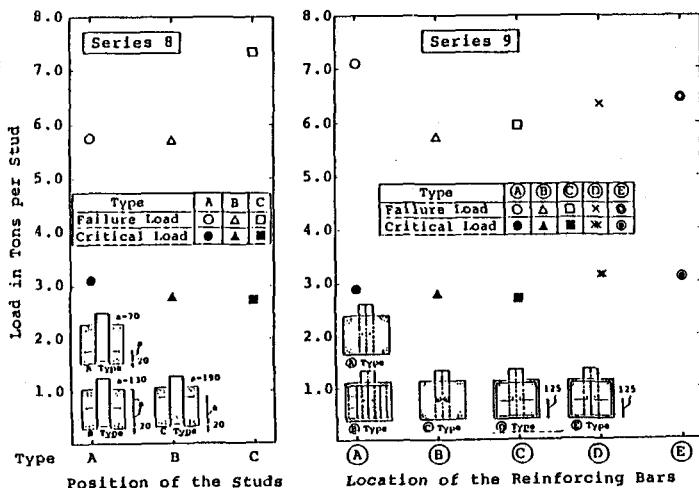


図11 シリーズ8、9の破壊および限界荷重

スラブ拘束、鋼板の板厚、スタッド根元の回転拘束および塗装の結果を図12に示す。破壊荷重はスラ

ブの拘束度の増加に伴い向上するが、板厚の増加に伴い低下して

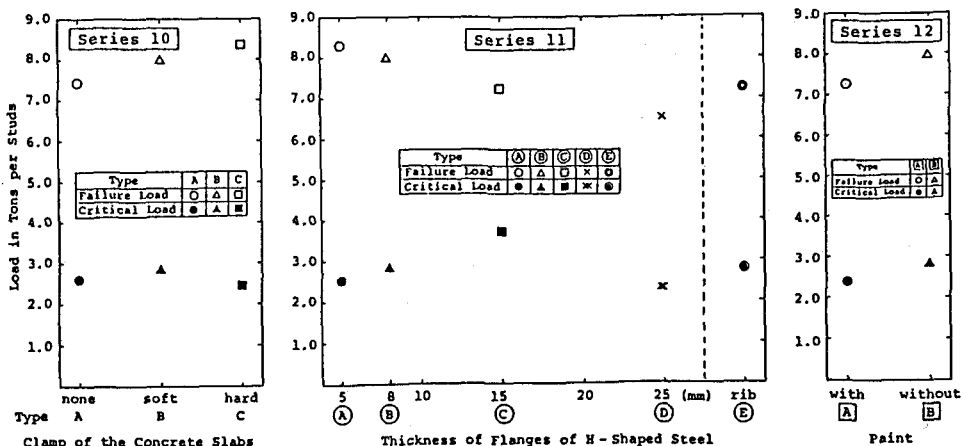


図12 シリーズ10～12の破壊および限界荷重

いた。リブ溶接によるスタッド根元の回転拘束はほぼ15mmの板厚に相当していた。また塗装は破壊荷重をわずかに低下させていた。

4. 疲労試験結果および考察

4.1 シリーズ1、2

シリーズ1と2のS-N曲線を図13に示す。疲労強度は鋼とコンクリートの接合面へのコンクリートの充てんが不十分となるコンクリートの打込み方向(Bタイプ)が最も低かった。それに対し、合成桁と同じ打込み方向であるAタイプは最も高かった。ウレタンによって不十分な充てんを人工的にモデル化した結果(D4タイプ)はA、Bタイプの間にあった。

4.2 シリーズ1、3

シリーズ1と3のS-N曲線を図14に示す。ブリージングによる空隙を人工的にモデル化するため、スタッドの支圧面においてスタッド全高の半分のみにウレタンを張付けたD2タイプの疲労強度が一番低かった。支圧面全面にウレタンを張付けたD3タイプの疲労強度はD2タイプとスタッドの支圧面にブリージングが形成するCタイプの間にあった。

4.4 シリーズ4

スタッドの余盛りを整形(E1タイプ)あるいは取り除いた(E2タイプ)場合の結果を図15に示す。200万回における疲労強

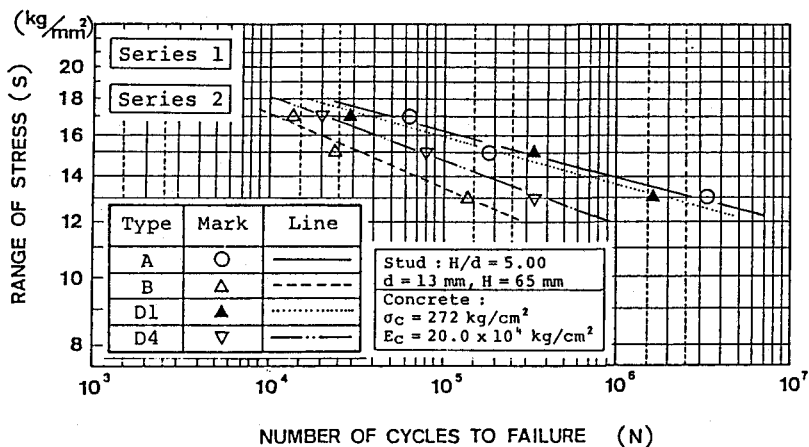


図13 シリーズ1、2のS-N曲線

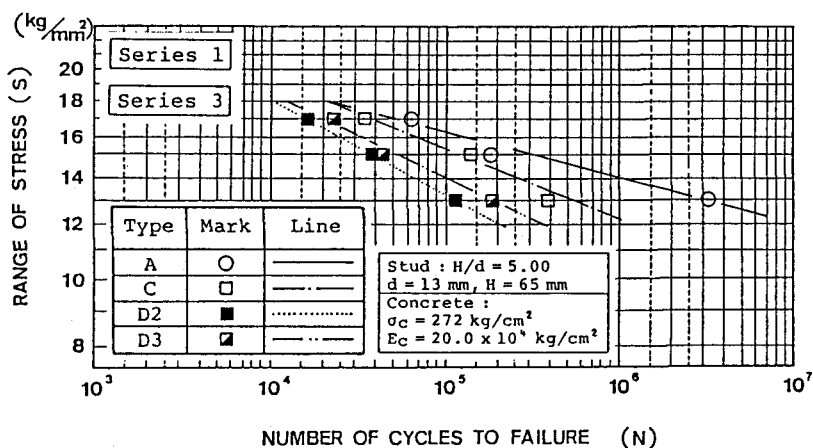


図14 シリーズ1、3のS-N曲線

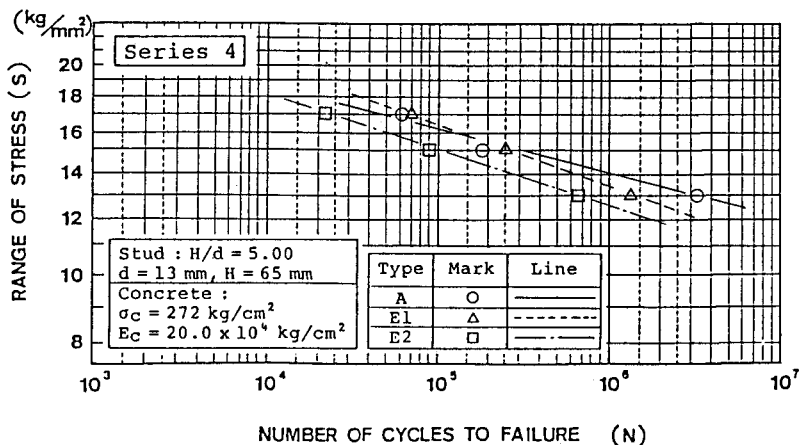


図15 シリーズ4のS-N曲線

度を比較した場合、E2タイプはA（標準形で余盛りの整形をしていない）タイプの約88%であった。

4.5 シリーズ5～7

スタッドが横、縦および斜めに配置された場合の結果を図16に示す。横・縦配列の間隔が50mmで、斜めの角度が45°である。横・縦配列の結果はほぼ同一で、斜め配列の疲労強度がそれらよりも高かった。

4.6 シリーズ8

スタッドの取り付け位置を変化させた場合の試験結果を図17に示す。鋼とコンクリートの接触部分の中央にスタッドを取り付けた標準形のBタイプとその接触部分の上部にスタッドを取り付けたCタイプのS-N関係はほぼ同一であった。一方、接触部分の下部にスタッドを取り付けたAタイプのS-N関係はB、Cタイプとかなり異なったものとなった。これはAタイプの破壊形式がせん断応力振幅 $S = 14 \text{ kg/mm}^2$ を境にして、スラブにひびわれを伴うか否かによるためである。

4.7 シリーズ9

コンクリートスラブの補強方法が異なる4タイプの結果を図18に示す。スパイラル筋のみを有するCタイプの疲労強度が最も低い値を示し、逆にスタッド支圧側に横一本の補強筋を有するDタイプが最も大きい値を示した。標準形のBタ

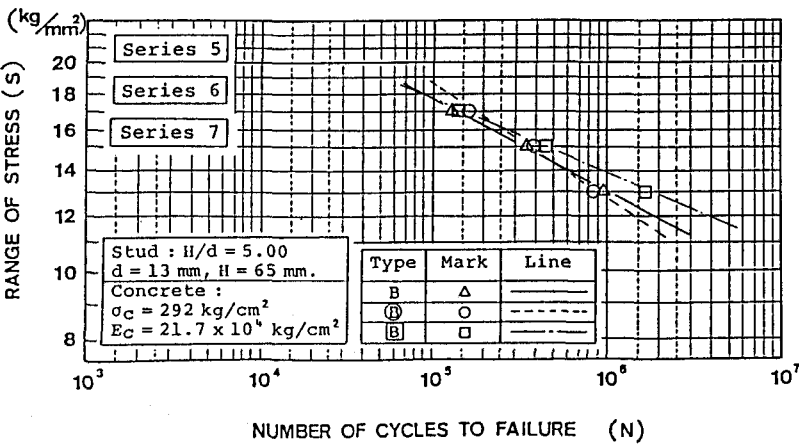


図16 シリーズ5～7のS-N曲線

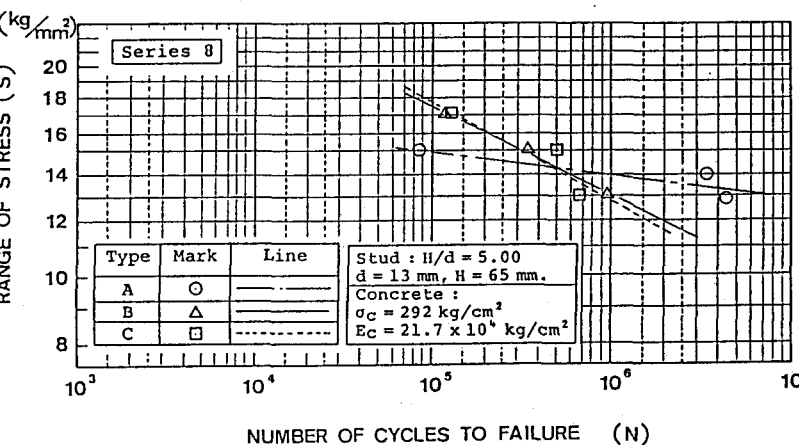


図17 シリーズ8のS-N曲線

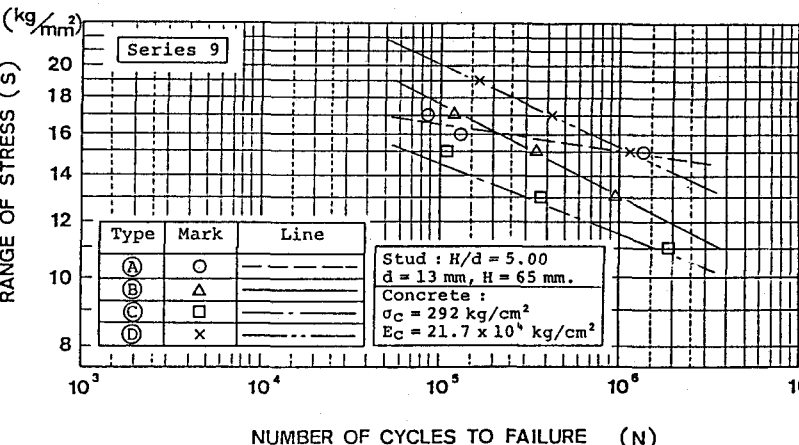


図18 シリーズ9のS-N曲線

イブはC、Dタイプのほぼ中間に位置していた。無補強のAタイプの破壊形式が応力振幅15~16kg/mm²において急変していた。

4.8 シリーズ10

スラブの拘束の程度を変化させた場合の試験結果を図19に示す。A(拘束なし)タイプのS-N関係が他のB、Cタイプに比べ極めて低い値を示し、またCタイプの結果から拘束の効果が高サイクル領域で発揮されていることがわかる。

4.9 シリーズ11

図20はスタッドを溶接する鋼板の板厚(リブ付きも含む)を変化させた場合の結果である。板厚25mmのDタイプとリブ付きのEタイプのS-N関係が他のタイプよりも低く、同程度であったことよりスタッド根元部の回転拘束が疲労強度を低下させると考えられる。また板厚5mmのAタイプの破壊形式はすべてスタッドが鋼板から引抜けていた。

4.10 シリーズ12

鋼板に塗装した場合の試験結果を図21に示す。塗装したAタイプの疲労強度が塗装していない標準形のBタイプに比べ極端に低い値を示した。同図にシリーズ1のBタイプおよびシリーズ2のD4タイプの結果もプロットした。これより塗装の影響はシリーズ2でのD4タイプと同程度であることがわかる。

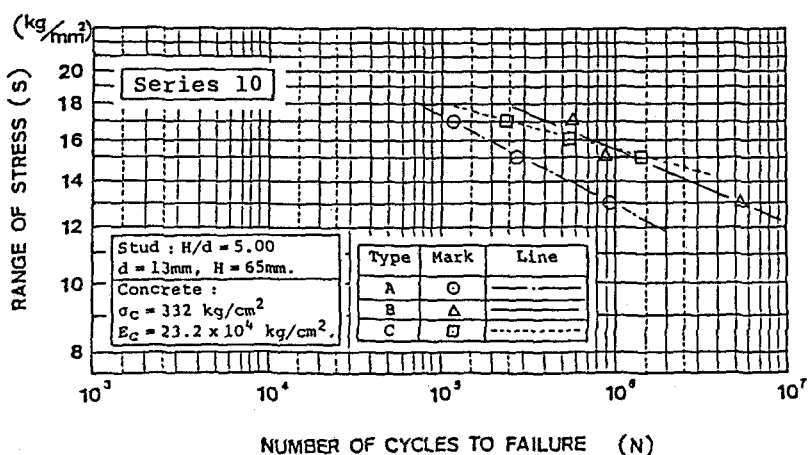


図19 シリーズ10のS-N曲線

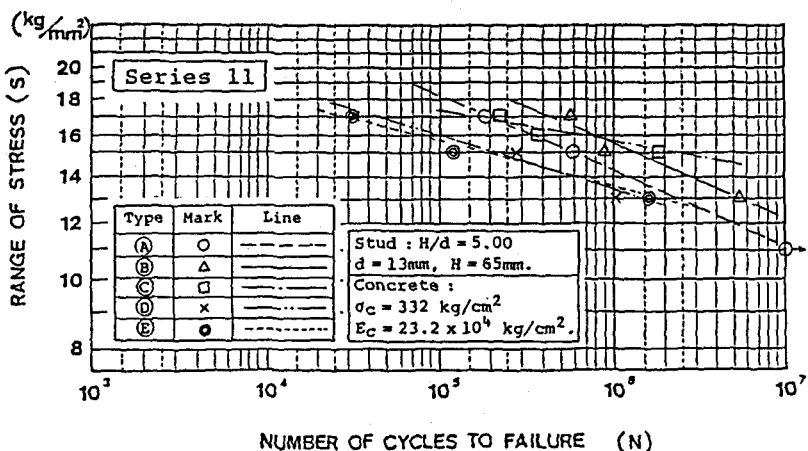


図20 シリーズ11のS-N曲線

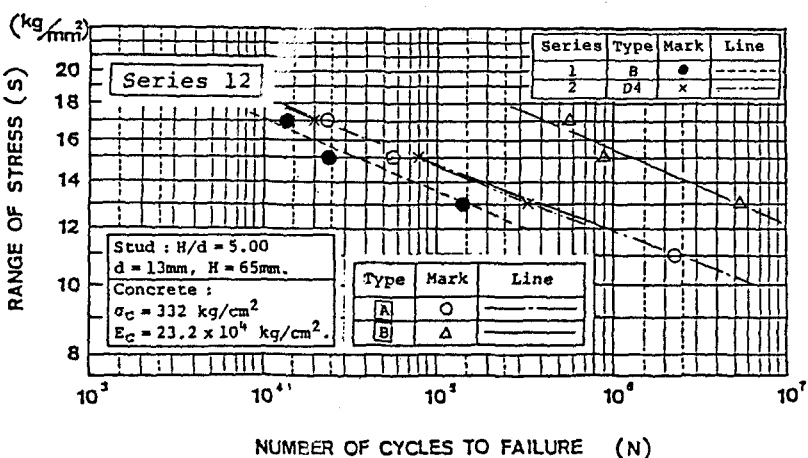


図21 シリーズ12のS-N曲線

5. 結 論

静的および疲労を合わせて140体の押抜き試験結果より、以下のようなことが明らかになった。

静的試験から；

- (1) 鋼とコンクリートの接触面への不十分なコンクリートの充てんは、静的耐荷力を低下させる。このことは、人工的に充てんの不十分さを再現した試験からも確認された。
- (2) スタッド支圧面のブリージングによる空隙は、ずれを基準にした限界荷重を大きく低下させる。このことは、人工的に支圧面の空隙を再現した試験からも確認された。
- (3) スタッドが横配列された場合、静的耐荷力はスタッド間隔に比例する傾向がある。またスタッド間隔が同じである横配列と縦配列を比較した場合、静的耐荷力は横配列の方がわずかに大きい。
- (4) 鋼とコンクリートの接触部分におけるスタッドの取り付け位置によって、静的耐荷力が影響を受ける。
- (5) 静的耐荷力は無筋コンクリートの供試体が一番大きかった。次いでスタッド近傍に横一本あるいは十字筋をもつものが大きかった。
- (6) スラブの拘束の程度は静的耐荷力に影響を与える。
- (7) 静的耐荷力はスタッドを溶接する鋼板の厚さに反比例する。
- (8) 鋼板の塗装は静的耐荷力をわずかではあるが低下させる。

疲労試験から；

- (1) 鋼とコンクリートの接触面への不十分なコンクリートの充てんは、疲労強度を著しく低下させる。このことは、人工的に充てんの不十分を再現した試験結果からも確認された。
- (2) スタッドの支圧面全面の空隙により、疲労強度はあまり低下しないが、スタッド全高の半分にだけ空隙が有る場合（人工的に再現した試験）、疲労強度は大きく低下した。
- (3) スタッドの余盛り高さは疲労強度に影響を与える。
- (4) スタッド間隔が同じならば、横と縦の配列の違いによる疲労強度の差異は見られなかった。
- (5) 鋼とコンクリートの接触部分におけるスタッドの取り付け位置は、疲労強度に影響を与える。
- (6) コンクリートスラブの補強では、スパイラル筋のみを有する試験が最も低い疲労強度を示した。
- (7) スラブの拘束の程度はスタッドの疲労強度に影響を与える。
- (8) 極厚(25mm)およびリブ付きの供試体の疲労強度が低いことより、スタッド根元部の回転拘束がスタッドの疲労強度に影響を与えるものと考えられる。
- (9) 鋼板の塗装は疲労強度を大きく低下させる。

〔謝辞〕本研究に際し、日本スタッドウェルディング(株)、タイコー(株)および大阪工業大学と摂南大学の学部卒研究生（昭和58年度～昭和60年度）の協力を得たことを記し、深く謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) Hiragi, H., Kurita, A. and Akao, S. et al: Static Strength of Stud Shear Connectors in SRC Structures Transactions of J.C.I., Vol.3, pp.453-460, 1981.
- 2) Johnson, R.P. et al: Analysis and design for longitudinal shear in composite T-beams, Proc. I.C.E. Part 2 pp.989-1021, 1981.
- 3) Davies, C.: Small-scale push-out tests on welded stud shear connectors, concrete, London, pp.311-316, 1967.
- 4) Buchholz, E.: Bruchversuche mit Kopfbolzendübel, Bauingenieur, 41, Heft7, s.289-291, 1966.
- 5) Roik, K.: Einfluß der exzentrischen Lage von Wendeln auf die Tragfähigkeit von Kopfbolzendübeln Bauingenieur, 47 s.344-346, 1972.
- 6) 阿部英彦: 鉄道用合成桁のずれ止めに関する実験的研究, 国鉄鉄研報告, No.961, 1975.
- 7) Goble, G.G.: Shear Strength of Thin Flange Composite Specimens, Engng J. AISC, pp.62-65, 5, 1968.