

運輸省船舶技研 正員 松岡一祥

大成建設株式会社 正員 池尻一仁 正員 蟹江俊仁

1. はじめに

スタッドによる合成部の破壊形式には、1)スタッドの引抜、2)コンクリートの破壊、3)スタッド基部のせん断(延性)破壊、の3種類がある。押抜き試験では、3種類の破壊形式が観察される。しかし、疲労試験の破壊個所はほとんどスタッドの基部である。一般的なスタッドの強度評価式には、スタッドの鋼材としての強度が考慮されていない。そこで、3)の破壊様式は評価できない。また、疲労強度に関してもはっきりしない。本報告では、スタッドによる鋼-コンクリート合成部の強度の検討をスタッドの材料強度を考慮して行う。

2. 押抜き試験における荷重伝達能力

2.1. 荷重伝達機構

スタッドによる合成部の破壊形式には、スタッドの引抜がある。即ち、スタッドには引張力が加わっている。この引張力は鋼材を経て鋼材とコンクリートの境界の圧縮力として伝達され、鋼材とコンクリートの間には摩擦力が生じる。一方、スタッド基部にはせん断力もある。そこで、押抜き試験において、スタッド1本の分担する荷重 Q は(1)式で表される(図1参照)。

$$Q = \mu T + S = A(\mu \sigma + \tau) \quad (1)$$

μ :鋼材とコンクリートの間の摩擦係数、 T , S :スタッドの基部での軸力、せん断力、 A :スタッドの断面積、 σ , τ :スタッド基部での直応力、せん断応力である。

2.2. スタッドの延性破壊

スタッドには曲げ応力も存在するが、全断面降伏状態では曲げ応力は無視できる。そこで、 σ と τ および相当応力 σ_e により降伏曲面を表すと(2)式となる。

$$\sigma_e = \sigma^2 + \beta^2 \tau^2 \quad (2)$$

β^2 : 3(ミーゼスの条件)または4(トレスカの条件)。

(2)式の条件で、(1)式の Q の最大値を求め、 σ_e が引張強度 σ_u に等しいとして最大耐力 Q_u が求まる。

$$Q_u = A(\mu^2 + \beta^{-2})^{1/2} \sigma_u \quad (3)$$

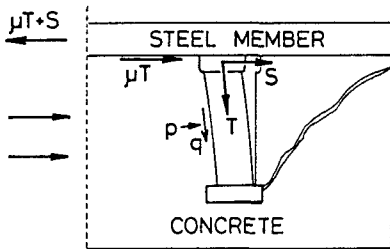


図1 スタッドの荷重伝達機構

2.3. 荷重伝達能力の推定式

鋼材とコンクリートの摩擦係数が、(4)式のコンクリートの強度の関数であると仮定した。

$$\mu = b \sigma_c^\alpha E_c^d \quad (4)$$

b, c, d :係数、 σ_c, E_c :コンクリートの強度、弾性率。

公表されている押抜きせん断試験結果¹⁻⁸⁾をデータベース化し、 $Q_u(H, D, \sigma_c, E_c, \sigma_u; H/D > 5)$ のデータ形式が完備しているものについて、(3)式を用いて μ を求め、最小2乗法で(4)式の係数を決定した。なお降伏条件はトレスカ^{*)}に従った。結果は

$$b=0.01077, c=1.038, d=0.3881^{**}) \quad (5)$$

であった。(3)~(5)式を用いると、スタッド延性破壊時の荷重伝達能力が推定できる。

図2に推定値と実験結果とを比較して示した。用いたデータの中には同一条件の試験で最小値と最大値との比が2程度となるものが幾組もある。この実験値のばらつきを考えるなら、ここに示した推定方法の精度が比較的良好であることがわかる。

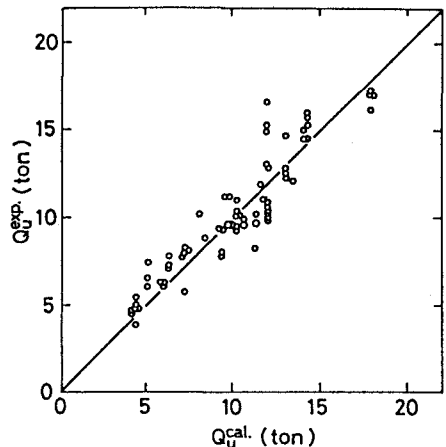


図2 推定値と測定結果の比較

3. 押抜き試験における疲労強度

3.1. スタッド基部の応力状態

押抜き試験においてスタッドとコンクリートの間には、横抵抗 p と軸方向摩擦力 q が働く(図1参照)。全断面降伏まで、摩擦力は横抵抗 p とスタッド-コンクリートの間の摩擦係数 μ_s の積として、(6)式で表される。

$$q = \mu_s p \quad (6)$$

p の積分値としてせん断力が、 q の積分値として軸力が生じることから、(7)式の関係が成り立つ。

$$T = \mu_s S, \quad \sigma = \mu_s \tau \quad (7)$$

3.2. 繰返荷重下での相当応力範囲

繰返荷重下では、直応力 σ とせん断応力 τ が(7)式の関係に従って同位相で変動し、疲労強度は応力変動範囲($\Delta\sigma, \Delta\tau$)の相当応力範囲 $\Delta\sigma_e$ で整理できる。

$$\Delta\sigma_e^2 = \Delta\sigma^2 + \beta^2 \cdot \Delta\tau^2 \quad (8)$$

また、(1)式が荷重変動範囲に対しても成立する。

$$\Delta Q = A(\mu \cdot \Delta\sigma + \Delta\tau) \quad (9)$$

(9)式に(7)(8)式を代入して $\Delta\sigma$ と $\Delta\tau$ を消去すると、

$$\Delta\sigma_e = \frac{(\mu_s^2 + \beta^2)^{1/2}}{1 + \mu \cdot \mu_s} \cdot \frac{\Delta Q}{A} \quad (10)$$

3.3. コンクリート強度の影響

スタッドの疲労設計は、公称せん断応力(Q/A をせん断応力と見做す)とS-N曲線で行われる。図3は疲労試験結果とECCSのS-N曲線⁹⁾を比較したものである。コンクリート強度が表1に示されている。

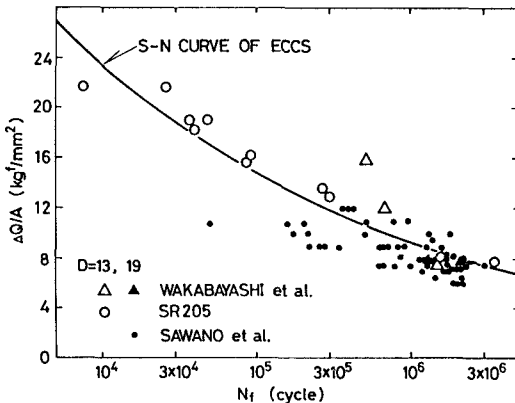


図3 疲労強度($\Delta Q/A$ による整理)

表-1 コンクリート強度

出典	σ_c (kg ² /mm ²)	E_c (kg ² /mm ²)
沢野ら ⁷⁾	3.60	1560
	2.40	1200
S R 205 ¹¹⁾	3.75	2560
若林ら ¹⁰⁾	4.303	2412
	4.102	

図3と表1を比較して見ると、コンクリートが弱いと疲労強度も小さく、 $\Delta Q/A$ とS-N曲線による疲労強度の評価は危険な場合があることがわかる。

同じデータを $\Delta\sigma_e$ で整理すると図4になる。摩擦係数 μ と μ_s は通常は等しい。ここでは(4)(5)式で μ を求め、 $\beta^2=4$ として $\Delta\sigma_e$ の計算を行った。図4と図3を比べると変動範囲の大きい領域では、 $\Delta Q/A$ よりも $\Delta\sigma_e$ で評価の方が合理的であることがわかる。

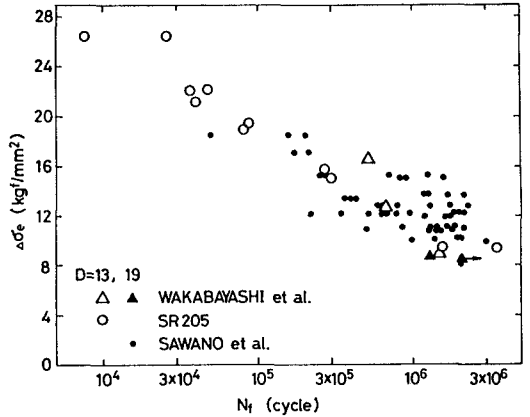


図4 疲労強度($\Delta\sigma_e$ による整理)

4. 結論

鋼-コンクリート合成部のスタッドが破断する場合の荷重伝達能力について検討し、以下の結論を得た。

- 1) 合成継手の荷重伝達機構には、鋼材とコンクリートの間の摩擦が寄与している。
- 2) 上記摩擦係数はコンクリートの強度の関数として記述できる。

さらに、疲労強度について検討し、以下の結論を得た。

- 3) 疲労設計を公称せん断応力範囲を用いて行う現行の方法では、コンクリートが弱い場合、危険側の予測値を与える。
- 4) スタッドの疲労強度は、引張とせん断の同時負加と考え、相当応力範囲で整理することができる。

なお、本研究は(社)日本造船研究協会S R 205研究部会での研究の一部として行われた。藤田 譲 部会長他関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 赤尾, 栗田, 平城; 土木学会論文集, 第380号, 1987.
- 2) Y. Maeda, S. Matsui, H. Hiragi; Tech. Rep. Osaka Univ No. 1733, 1983.
- 3) 阿部; 鉄道技術研究所報告, No. 961, 1975.
- 4) 橘 他; 土木学会誌, 第51巻11号, 1966.
- 5) 山本, 中村; 土木研究所報告, 第109号, 1961.
- 6) 平野 他; 日本建築学会論文報告集, 第281号, 1981.
- 7) 沢野 他; 土木学会論文報告集, No. 174, 1970.
- 8) 金, 金; 日本建築学会構造系論文報告集, 389号, 1988
- 9) ECCS: Recommendations for the Fatigue Design of Steel Structures, 1st Ed., 1985, Appendix B.
- 10) 若林 他; 土木学会誌, 第51巻9号, 1966.
- 11) 日本造船研究協会: 第205研究部会報告書, 1989.

*) 初期降伏ではミーゼスの条件が適当だが、延性および疲労破壊を取り扱うため、トレスカによった。

**) 本報では、鋼、コンクリートともに、応力単位はkg²/mm²としている。