

報告

[2050] 打継目におけるせん断伝達耐力の評価について

正会員○飯島政義（東京電力送変電建設所）
 大塚正博（東京電力送変電建設所）
 佐藤正樹（東京電力送変電建設所）
 正会員 原 夏生（前田建設工業技術研究所）

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物には、施工上の理由からやむをえず打継目が存在する。送電鉄塔に用いられる深礎基礎も同様であり、また、躯体部の鉄筋比が低く、風荷重である引揚力により引張応力が卓越する状態でせん断力を受ける構造物でもある。このような状態において打継目の存在は打継面がすべるといふ破壊性状を起こす可能性がある。本研究は、打継目が構造上の欠陥とならないよう、打継面に対して垂直方向に引張応力が生じている状態でのせん断伝達耐力の評価について実験的に検討したものである。

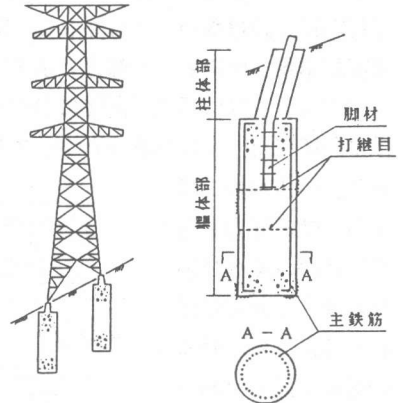


図-1 送電鉄塔と深礎基礎の概要

2. 実験の概要

打継目でのせん断伝達耐力の評価は、せん断摩擦理論^{1), 2)}に基づき、コンクリート標準示方書の考え方に準拠して、鉄筋比、引張応力をパラメーターとして、次式により行った。

$$V_{cw} = \mu' \cdot (p \cdot f_y - \sigma_t) \cdot A_c \quad (1)$$

- ここに、 V_{cw} : せん断伝達耐力 (kgf) , $\mu' = \mu' (\sqrt{f'_c})$: せん断摩擦係数
- p : せん断面において両側にそれぞれ十分な定着長を持った鉄筋比
- f_y : 鉄筋の引張降伏強度 (kgf/cm²)
- σ_t : せん断面に垂直な引張応力度 (kgf/cm²)
- A_c : せん断面の面積 (cm²) , f'_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

[コンクリート標準示方書によるせん断摩擦係数 :

$$\mu = 1.1 \sqrt{f'_c} / (p \cdot f_y - \sigma_t)^{2/3} \leq 0.12 \sqrt{f'_c}]$$

試験体諸元は、送電鉄塔深礎基礎の設計実績調査結果を踏まえ、表-1のよように設定した。その結果、 $p \cdot f_y - \sigma_t$ が小さい領域での実験となる。

本研究で使用したコンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いた呼び強度 180kgf/cm²のレディミクストコンクリートにより表-2に示す配合を行ったものであり、試験時のテストピースの圧縮強度は約 250kgf/cm²であった。また、使用した鉄筋 (SD30、高炉)

表-1 試験体諸元

CASE	せん断面径 D (cm)	鉄筋比 p (%)	軸鉄筋	引張応力 σ_t (kgf/cm ²)	全圧縮応力 $p \cdot f_y - \sigma_t$ (kgf/cm ²)
1	30	0.4	D10-4	6.0	10.4
2	30	0.8	D10-8	6.0	26.8
3	30	1.2	D10-12	6.0	43.2
4	30	0.4	D10-4	10.0	6.4
5	30	0.8	D10-8	10.0	22.8
6	30	1.2	D10-12	10.0	39.2
7	45	0.8	D10-18	6.0	26.8
8	60	0.8	D10-32	6.0	26.8
9	30	0.8	D10-8	10.0	22.8
10	30	0.8	D10-8	10.0	22.8
調査結果		0.27~1.34 (平均) 0.80 (標準偏差) 0.22		1.6~12.4 6.6 2.2	6.0~29.4 17.3 5.0

鉄筋の降伏強度は引張試験結果 ($f_y = 4070 \text{ kgf/cm}^2$) を用いている
 CASE 9 : 打継目なしの一体打ち , CASE10 : 打継面無処理

の引張降伏強度は材料試験から、 $f_y = 4070 \text{ kgf/cm}^2$ である。

表-2 配合

G _{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	糸リズ No.70
20	12±2.5	4±1	66.0	48.1	168	255	896	981	2.81

試験体形状の一例を図-2に示す。CASE 1~10のせん断面はすべて円形であり、CASE 1~8はワイヤーブラシを用いて細骨材の表面が浮きでるように処理した打継面をせん断面とする。CASE 9は打継目を設けない一体打ちとし、CASE10は打継面が無処理のものである。CASE 1~6（後述する実験結果の図において●印で示す）は全圧縮応力とせん断伝達耐力の関係を知るためのシリーズであり、CASE 7,8（同様に◎印で示す）はCASE 2と併せてスケールの影響を、CASE9,10（同様に○印で示す）はCASE 5と併せてせん断面の違いによる影響を評価するために設定するものである。

いずれの試験体も、せん断力荷重前に行われるひび割れの導入が確実にされるように、せん断面に1辺が5mmのノッチを設けている。

実験装置は図-3に示すように引揚力（鉛直方向）、せん断力（水平方向）荷重用のセンターホール

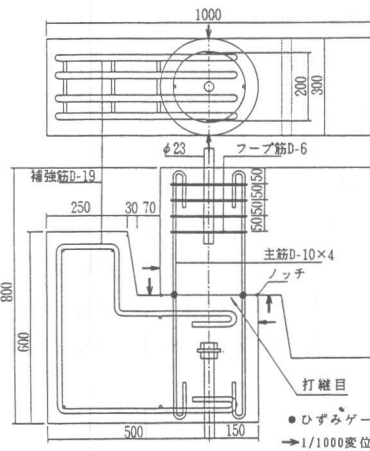


図-2 試験体形状

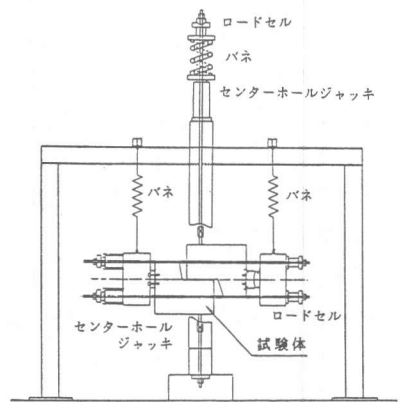


図-3 実験装置

ジャッキとロードセルとからなり、せん断力荷重方式はpush-off方式である。

実験は2段階に分けて行われる。第1段階はせん断面に垂直方向に引揚荷重を行い、打継面にひびわれを発生させるものである。第2段階は所定の引張応力 ($\sigma_t = 6.0, 10.0 \text{ kgf/cm}^2$) をせん断面に加えながら、終局耐力を記録するまでせん断力荷重を行うものである。

3. 実験結果および考察

実験結果の一覧を表-3および図-4に示す。図において横軸はせん断伝達耐力時にすべての鉄筋が降伏していたとした場合のせん断面に作用する全圧縮応力である。一方、縦軸はコンクリート標準示方書に準拠して、最大せん断応力（せん断伝達耐力を応力に換算した値）をコンクリートの圧縮強度の平方根で除したせん断強度比である。CASE 1~6の実験結果を標準示方書による計算値と比較すると、実験値は計算値を下回るものの傾向的には一致していると言える。すなわち、せん断面が打継面であることによるせん断伝達耐力の低減を考慮することにより、せん断摩擦理論に基づいて、送電鉄塔深礎基礎の軀体部のような鉄筋比の低い打継面でのせん断伝達耐力を評価することができると考えられる。図-5に示すように実験値と計算値との比は、平均値が0.64、変動係数0.13であり、これらから95%下側信頼限界は0.50となる。一方、せん断伝達による破壊性状は、鉄筋の降伏による場合とそれ以外の場合とに分けられ^{1), 2)}、今回の実験範囲内では図-6に示す鉄筋ひずみ等の計測結果から鉄筋の降伏によりせん断伝達耐力に達していると考えられ

る。図-4には、実験結果を原点を通る直線で回帰した場合も示してあり、実験範囲内においては直線回帰でよいように見受けられる。しかし、今回の実験ではせん断面の破壊性状の異なる領域まで捕らえていないため、打継目におけるせん断伝達耐力の評価に際しては、安全側を配慮して示方書式の計算値を低減したもの（95%下側信頼限界）を用いることが妥当であると考えられる。

表-3 実験結果の一覧

CASE	引張応力 σ_t (kgf/cm ²)	コンクリート強度 f'_c (kgf/cm ²)	全圧縮応力 $p \cdot f_y - \sigma_t$ (kgf/cm ²)	耐力 V_{cw} (tf)	せん断強度比 $\tau_m / \sqrt{f'_c}$	V_{cwz} / V_{cwi}
1	5.93	239	10.5	9.8 (13.8)	0.89 (1.26)	0.71
2	5.81	236	27.0	16.5 (35.2)	1.52 (3.25)	0.47
3	5.91	224	43.4	28.0 (40.9)	2.65 (3.86)	0.69
4	9.12	252	7.3	6.5 (9.8)	0.59 (0.88)	0.66
5	9.89	226	23.0	18.3 (29.3)	1.72 (2.76)	0.62
6	9.89	234	39.4	27.9 (40.5)	2.58 (3.74)	0.69
7	5.41	260	27.4	60.4 (84.5)	2.36 (3.29)	0.72
8	4.95	268	27.9	126.0 (154.4)	2.72 (3.34)	0.82
9	9.89	274	23.0	38.1 (32.2)	3.26 (2.76)	1.18
10	9.96	303	22.9	19.0 (33.8)	1.54 (2.75)	0.56

引張応力はせん断伝達耐力を記録した時点の値を用いている
耐力、せん断強度比の（ ）内の値はRC示方書式による計算値
 V_{cwz} : 実験値
 V_{cwi} : 計算値

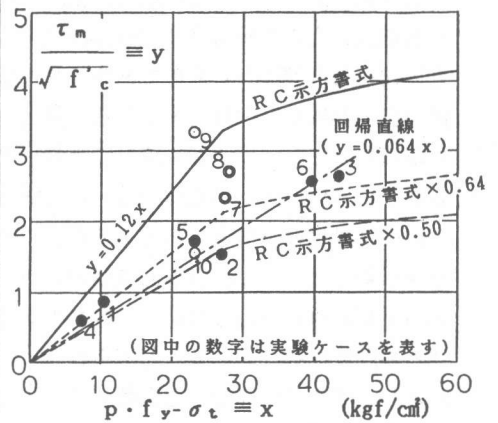


図-4 実験結果

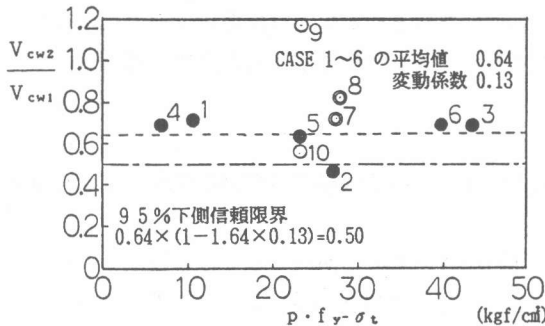


図-5 実験値と計算値との比

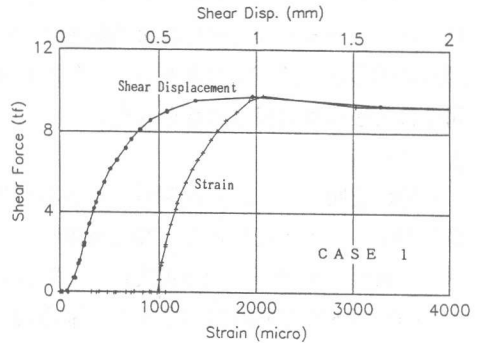


図-6 計測結果

打継目の処理を等しくし、鉄筋比、引張応力を変えて実験を行ったCASE 1~6の結果をみると、CASE 2が他に比べて小さくなっていることが分かる。引張応力のみが異なるCASE 2とCASE 5とで実験後のせん断面を観察すると、打継面処理直後の状態に比べてかなりの凹凸が存在しており、またCASE 5のせん断面の方がより凹凸に富んでいる。図-7は実験後にせん断面をはつりだし、打継面処理時の表面（骨材の表面が浮き出る程度）が保持されている部分とそれより大きな凹凸を有する部分（×印）とに区分したものである。図から、凹凸部分の面積が全面積に占める割合を求めたところ、CASE 2, 5それぞれ約20%、約35%であり、これらは実験値と示方書式による計算値とのせん断伝達耐力の比の大小に対応している。従って、

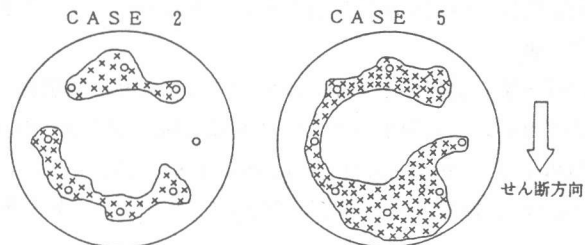


図-7 実験後のせん断面の観察

CASE 2ではせん断面が比較的滑らかであり、他の試験体に比べて十分な摩擦力が発揮されなかったため、せん断伝達耐力が劣ったと考えられる。

本実験がひび割れを導入した後にせん断力を載荷していることから、ひび割れ面性状の違いはひび割れ導入時に生じたものであると考えられる。図-8は、横軸に打継面にひび割れを導入した際に測定されたひび割れ発生応力 f_{t2} と、テストピースの圧縮強度 f'_c から推定される引張強度 f_{t1} ($=0.58 f'_c{}^{2/3}$) との比を、縦軸にせん断伝達耐力の実験値 V_{cw2} と計算値 V_{cw1} の比 $\frac{V_{cw2}}{V_{cw1}}$ との比をとり整理したものである。せん断面の直径が等しいCASE 1~6, 9, 10に対し、

打継面にワイヤブラシを用いて細骨材の表面が浮き出るように処理を行ったCASE 1~6の結果はばらつきのあるものの、これらを平均したものと、打継面無処理のCASE 10および打継目を設けない一体打ちのCASE 9との間には相関があると考えられる。これより、せん断伝達耐力と引張強度との間には密接な関係があるように思われる。

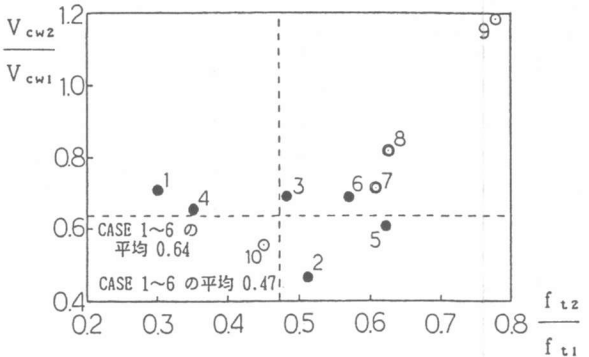


図-8 引張強度、せん断伝達耐力の実験値と計算値との比

一方、スケールの影響については、形状が大きくなると耐力は増大するといった結果が得られた。また、せん断面の違いによる影響については、一体打ちのものと同様に打継面無処理のものとの間には大きな差は見られなかった。

4. まとめ

今回の実験により、ひび割れが存在し引張応力が生じている状態での打継目におけるせん断伝達耐力について下記のような知見を得た。

- ・打継目での耐力は示方書式による計算値に比べ小さいものの傾向としては一致している。
- ・CASE 1~6 の範囲内 ($0 < \text{全圧縮応力}, p \cdot f_y - \sigma_t < \text{約} 40 \text{kgf/cm}^2$) では、全圧縮応力とせん断強度比の間の相関は高い。
- ・ひび割れ導入に起因すると考えられるせん断面の状態 (凹凸) によって、せん断伝達耐力は異なる。

上記を踏まえて、打継目におけるせん断伝達耐力の評価は、示方書式の計算値を5割低減したもので評価することが妥当であると考えられる。

今後、スケールの影響について詳細な検討を行うとともに、せん断伝達耐力と引張強度およびせん断面性状との間の関係を明らかにするために、せん断面の定量的な評価を試みる所存である。

〔参考文献〕

- 1) 山田一字, 青柳征夫: ひびわれ面におけるせん断伝達, 第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, 1983, pp.19-26
- 2) Bass, R.A., Carrasquillo, R.L. and Jirsa, J.O.: Shear Transfer across New and Existing Concrete Interfaces, ACI Structural Journal, Vol.86, No.4, 1989, pp.383-393