

V-577

内圧を受ける厚肉円筒コンクリート部材の数値解析

東京電力（株） 正会員 飯島政義

東電設計（株） 正会員 齋藤修一

前田建設（株） 正会員 三島徹也

1、まえがき

送電用鉄塔の深礎基礎への定着方法は、図-1に示すような支圧板と呼ぶリング状プレートを取り付けた主脚材（鋼管）を埋め込まれたものである。深礎基礎は、軸方向に主筋、円周方向には主筋を取り囲むように帯鉄筋が配置されているが、その鉄筋量は少ない。主脚材に引揚荷重が作用した場合、支圧板から伝達される荷重の半径方向成分力（内圧）により、破壊モードは割裂破壊であることが明らかにされている[1]。本研究は、破壊力学に基き、コンクリートのひびわれ幅と引張応力の関係を考慮したひびわれ要素を用い、内圧を受ける厚肉円筒コンクリートの破壊挙動を数値解析により評価したものである。

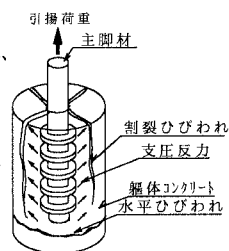


図-1 定着方法

2、解析条件

既往の実験結果によると割裂ひびわれは3から6本程度発生し、図-2に示すように4本の割裂ひびわれが発生しているものが最も多い。割裂ひびわれをひびわれ要素を一列に配置することで表現し、対称性を考慮して図-3に示すように4分円を解析対象とした。ひびわれたコンクリートの引張軟化特性は図-4に示すような2直線型のモデルを用い、破壊エネルギー G_f の値としては普通コンクリートの一般的な値である 0.1 kgf/cm とした。ひびわれ部以外のコンクリートは弾性要素とし、コンクリートの内側には、周方向に摩擦のないすべり要素、鋼管を模擬した鋼材要素を設け、鋼材要素に強制変位を与えて内圧を表現した。解析条件および解析ケースを表-1に示す。

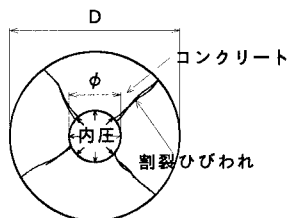


図-2 ひびわれ状況

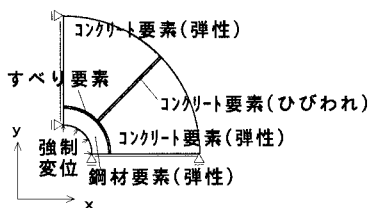


図-3 解析モデル図

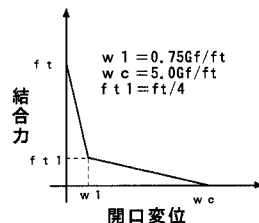


図-4 引張軟化曲線のモデル

3、解析結果

各ケースの最大内圧等、解析結果

をまとめて表-1に示す。一例としてCase1におけるひびわれ要素の周方向応力 σ_θ 分布（最大内圧時）を図-6に示す。解析の結果、コンクリートの引張強度に達するまでの σ_θ は、弾性の厚肉円筒の応力分布状態にある。最大内圧時の応力は

表-1 解析条件および解析結果一覧

case	D (cm)	φ (cm)	D/φ	コンクリート強度		最大内圧 q_u (kgf/cm ²)	a^*/D	$\bar{\sigma}_\theta / \sigma_t$
				f'_c (kgf/cm ²)	f_t (kgf/cm ²)			
1	60	12	5	300	26.13	58.61	0.276	0.561
2	60	12	5	200	19.94	50.99	0.244	0.639
3	60	12	5	400	31.65	65.53	0.293	0.518
4	84	12	7	300	26.13	75.18	0.294	0.480
5	108	12	9	300	26.13	90.34	0.308	0.432
6	300	60	5	300	26.13	34.63	0.366	0.331
7	540	60	9	300	26.13	54.65	0.382	0.261

円中心から距離18cmまで引張軟化の領域にあり、その外側は引張強度($f_t = 0.583f'_c{}^{2/3}$)に達していない弾性状態であることを示している。模型実験を基にした現行の耐力算定[2]においては、塑性域 $a^* (=0.289D)$ を図

-5のように設定し、塑性域 a の範囲の周方向応力 σ_θ は0、塑性域 a の外側では一様に引張強度に達しているという分布を仮定している。解析結果から各ケースの塑性化した部分 a を逆算し、これを a' とおき、躯体径 D との比 a'/D を表-1に示す。各ケースとも現行の a と逆算した a' はおおむね一致している。

コンクリート強度 f'_c の異なるcase1, 2, 3の a'/D と f'_c の関係を図-7に示す。同図からコンクリート強度が大きいくほど逆算して得られる a'/D が大きくなる傾向を示していることがわかる。 a' が大きい場合には、応力分布が不均一になっており、 f'_c が大きくなるほど応力集中が生じ易いといえる。

次に、最大内圧時におけるひびわれ要素の周方向応力の平均値 $\overline{\sigma_\theta}$ を求め、引張強度 f_t との比 $\overline{\sigma_\theta}/f_t$ と厚肉円筒コンクリート幅 $(D-\phi)/2$ の関係をcase1, 4~7について図-8に示す。最大内圧時の σ_θ を見ると各ケースとも相似形ではなく、図-6に示すcase1のものに比べて $(D-\phi)/2$ が大きくなるほど分布が集中している。このように、最大内圧時に全ての周方向応力が f_t に達して破壊するのではなく、 $(D-\phi)/2$ が大きくなるほど応力分布が不均一になるため、応力集中の度合いにより、平均的な引張応力が小さくなった。 $(D-\phi)/2$ が大きくなる時の $\overline{\sigma_\theta}/f_t$ の低下する度合いは、0.32乗に反比例して、コンクリート標準示方書の曲げひびわれの寸法効果である $(1/3)$ 乗と一致した傾向となっていることがわかる。

4. まとめ

既往の実験結果に対して数値解析によりシミュレーションを行い、以下のことがわかった。

- (1)コンクリート強度 f'_c が大きくなると a/D は大きくなる。その理由は、終局耐力時のひびわれ部コンクリートの周方向応力分布がコンクリート強度が大きくなるほど不均一になるためである。
- (2)厚肉円筒コンクリート幅 $(D-\phi)/2$ が大きくなると $\overline{\sigma_\theta}/f_t$ は0.32乗に反比例して低下し、コンクリート標準示方書に記載されている曲げひびわれの寸法効果である $(1/3)$ 乗に等しい。

[参考文献]

- [1]広中了, 田邊成, 三島徹也: 支圧板付き鋼管の定着耐力に関する実験、土木学会第50回年次学術講演会第5部、pp. 798~799.、1995.9
- [2]斉藤修一, 吉井幸雄, 飯島政義: 支圧板付き鋼管の定着耐力算定方法に関する検討、土木学会第50回年次学術講演会第5部、pp. 800~801.、1995.9

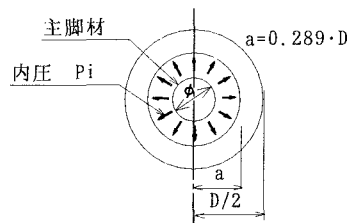


図-5 塑性化領域の範囲

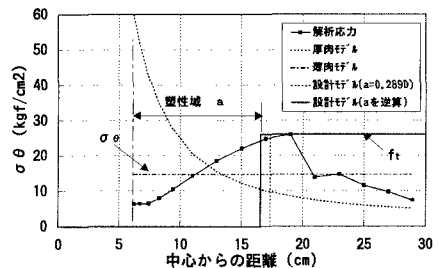


図-6 最大内圧時の応力分布(case-1)

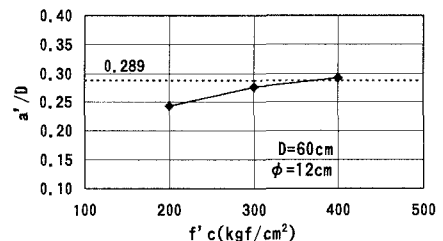


図-7 塑性化領域の範囲

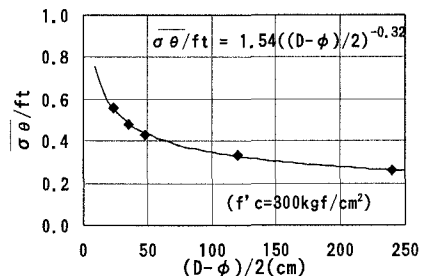


図-8 引張強度の寸法効果