

V-107

鉄筋腐食膨張による表面コンクリートの剥離モデル

東電設計(株)	研究開発部	正会員○福田靖大
東電設計(株)	研究開発部	正会員 松島 学
東京電力(株)	技術研究所	正会員 堤 知明

1. はじめに

コンクリート表面からの塩分浸透により鉄筋は腐食し、かぶりコンクリートにひびわれ、あるいは剥離・剥落を生じる。実際のひびわれを観察すると、かぶり厚さがある程度あると、鉄筋に沿ったひびわれを生じるが、鉄筋のかぶりコンクリート厚さが薄い場合は、剥離する現象が見られる。

本研究は、これらの物理現象を説明する力学モデルを提案し、実構造物でのひびわれモードを評価でき得るかを調べたものである。

2. 弾性論によるモデル

施工のばらつきなどにより鉄筋のかぶり厚さが小さくなることが実際の施工では良くみられる。このようなかぶり厚さの場合、鉄筋腐食の膨張圧により剥離を生じている。内圧を受けるかぶり厚さが薄い場合の円孔周方向およびコンクリート表面の応力の分布の例¹⁾を図-1に示す。これが、かぶりが薄い場合に剥離となる現象を説明するものと考えられる。

半無限平板中の円孔に内圧が加えられた場合の円孔縁表面の接線方向応力 σ_θ は、弾性論¹⁾から式(1)のように表される。

$$\sigma_\theta = q \left\{ -1 + \frac{2(\cosh^2 \alpha - \cos^2 \beta)}{\sinh^2 \alpha} \right\} \quad (1)$$

ここで、 q は内圧を、 α 、 β は式(2)、(3)、(4)のように表される。

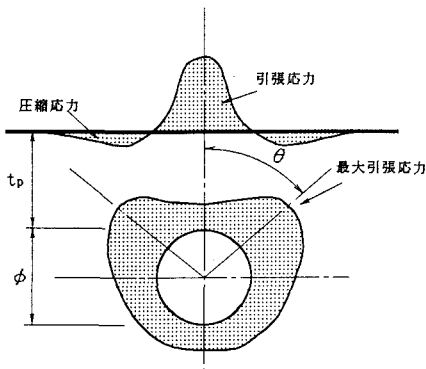


図-1 剥離のモデル

$$D/\phi = \cosh \alpha \quad (2)$$

$$\pi - \theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sinh \alpha \cdot \sin \beta}{\cosh \alpha - \cos \beta} \right) \quad (3)$$

$$\alpha = \cosh^{-1}(D/\phi) \quad (4)$$

図-2に円孔円周の引張応力の分布と D/ϕ の関係を示す。同図にみられるように、 D/ϕ の値が小さな時(<3.0)は、円孔円周には最大値が卓越するが、それ以上の値になると円周方向の引張応力はほとんど等しくなり、円筒モデル²⁾が適用できるものと思われる。また、応力の最大値の発生する位置は D/ϕ の関数となる。応力 σ_θ が最大となる位置は、式(1)より $\cos^2 \beta = 0$ ($\beta = 90^\circ$) となる位置であることがわかる。このときの円孔縁の位置 (θ_{max}) は式(5)のように求められる。

$$\pi - \theta_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{\sinh \alpha}{\cosh \alpha} \right) \quad (5)$$

最大引張応力の発生位置と D/ϕ の関係を図-3の中に実線で示す。図にみられるように、かぶり厚さが小さくなるにつれて、剥離のひびわれ角度は小さくなる傾向がある。発生位置は D/ϕ が2.0以下である時は60度となる。しかしながら、4.0では80度前後となっている。この図だけから見ると、 D/ϕ が大きくなるとひびわれ角度は80度となるために、剥離をするように見える。しかしながら、図-2に見られるように D/ϕ が大きくなる ($D/\phi > 3.0$) と最大値はあまり卓越しなくなり、コンクリート強度のばらつきを考えると、ほぼ円周上に均等の応力となり、最大値の意味はなくなる。従って、この図のひびわれ発生は、 $D/\phi < 3.0$ 前後の時に成り立つものと考えられ、剥離時のひびわれ角度は60~70度前後であることがわかる。

3. 現場調査との比較

2.で求めた理論の妥当性を検証するために、実構造物の劣化調査を行った。実構造物は東京湾に面した岸壁の腐食した鉄筋である。対象とした鉄筋は、鉄筋相互の影響を受けない程度の鉄筋間隔があるものを選んだ。剥離・ひびわれの発生からその鉄筋でのかぶり厚さ t_p 、鉄筋径 ϕ およびひびわれ角度 θ を調査した。実際のひびわれ角度は、鉄筋からおおぎ

型に広がっており、その接線から角度を求めることは難しい。本研究では図-4に示すように最大剥離箇所の剥離幅 B とかぶり厚さからひびわれ角度を定義した。ひびわれは直線ではなく、放物線形状であること、特にコンクリート表面に達すると、表面に平行になることが観察される。この現象は、かぶり厚さが、薄い場合は特に顕著であった。従って、剥離ひびわれの先端は、コンクリート表面になると表面モルタルに沿ってひびわれが進展するので、ひびわれの曲率が一番大きな箇所を剥離幅とした。

$$\tan^{-1}(\theta) = \frac{B - \phi}{2 \cdot t_p}$$

ここで、 B :最大剥離幅(cm), t_p :かぶり深さ(cm), ϕ :鉄筋径(cm)である。

得られたデータは全14ケースである。図-3の中に測定値をプロットする。図にみられるように、ばらつきが大きいもののひびわれ角度は60~80度の値と

なっており、本提案理論値と傾向が似ている。また、同図にはひびわれが発生し、剥離を生じなかった場合も示す。ひびわれの生じた場合は、 D/ϕ がほぼ3.0程度であり、ひびわれと剥離の限界値上であることが想定される。しかし、ひびわれのデータは数少なく定量的に判断するには至っていない。このように、本理論解はばらつきがあるものの、現場のひびわれモードと同程度の傾向があることがわかる。

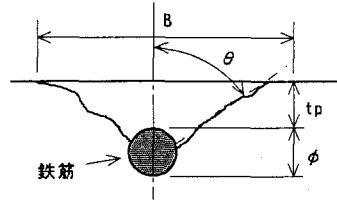


図-4 ひびわれ角度の定義

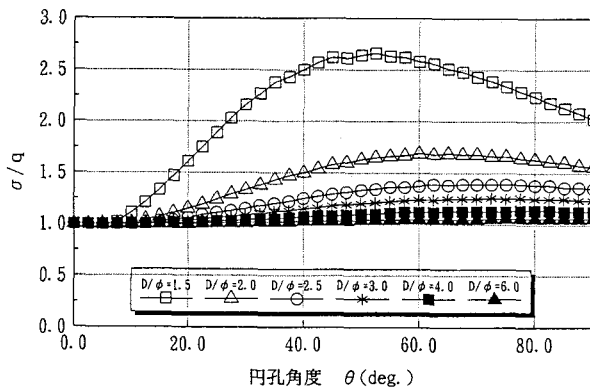


図-2 円孔周囲の引張応力の分布

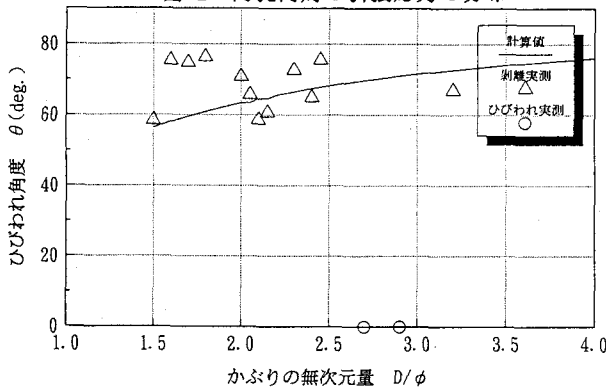


図-3 円孔周囲の引張応力の最大角度

（参考文献）

- 1) 鶴戸口英善:双曲座標による二三の平面問題の解(その1),日本機械学会論文集,13巻44号,昭和22年5月.
- 2) 関 博,松井邦人,松島 学,金子雄一,田畑裕,コンクリート構造の寿命予測に関する一考察,第12回コンクリート工学年次論文報告集,1990.6.