

V-39

多数の仮想ひびわれを考慮した円筒の解析

東北工業大学 正会員 秋田 宏
 東北大学 " 尾坂芳夫

まえがき

コンクリートのひびわれは、引張応力が引張強度に達すると、ただちに発生して目に見えるわけではない。引張応力が引張強度に達すると、まず破壊進行領域（Fracture process zone）が形成される。この領域はマイクロクラックの集積領域であって、マイクロクラックが荷重の増加につれ、次第に増加・連結して大きなひびわれに成長し、やがて目に見えるようになる。この領域ではマイクロクラックの集積度に応じて、引張強度に近い値からゼロに近い値までの、引張応力を伝える。この破壊進行領域をひびわれ解析に取り入れる手法の1つに、仮想ひびわれモデルがある。

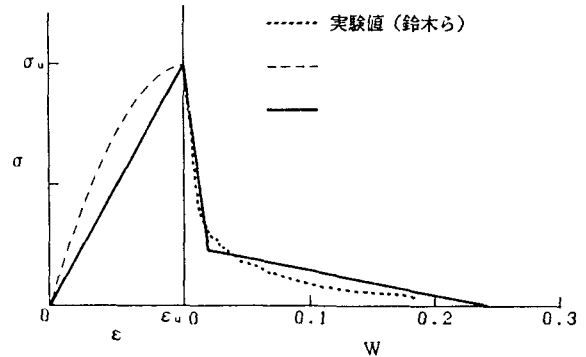


図-1

仮想ひびわれモデル

仮想ひびわれモデルでは、仮想的なひびわれを考え、ひびわれ面に作用する引張応力の大きさを、ひびわれ開口幅から定める。引張応力 σ とひびわれ開口幅 W の関係は、引張試験におけるひずみ軟化曲線から定められる。図-1は、鈴木らの実験値を示しており、これを2直線で近似したものを2直線モデルと呼ぶ。引張応力が引張強度以下の領域では、通常の応力-ひずみ関係を用い、線形弾性と仮定するのが普通である。

ある荷重状態で、仮想ひびわれがさらに進展するのか、その位置で安定するのかは、ひびわれ先端の引張応力が引張強度を超えるか越えないかで決められる。また、特定の荷重に対して応力状態が計算できるだけでなく、逆に仮想ひびわれ先端の引張応力が引張強度になる荷重を求めることもできる。

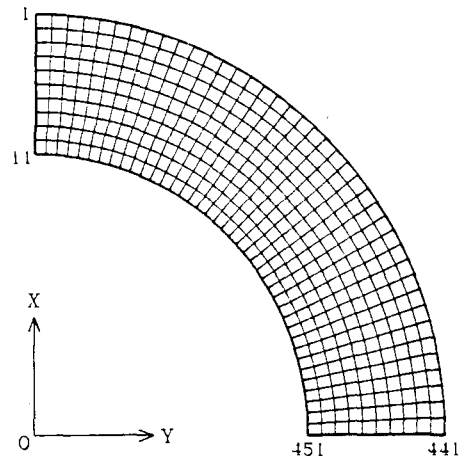


図-2

計算モデル

内外に温度差を受ける円筒には、底版等で拘束を受けない場合、ほぼ180°の位置に2本のひびわれ（対クラック）が発生する。したがって、円筒の4分の1をモデル化すれば良いが、ここで仮想ひびわれ

を1本と仮定してしまうと、円周上の他の部分で引張強度をはるかに越える引張応力が生じ、実際の現象を表わさなくなる。本研究では、円周上に多数の仮想ひびわれを設けることにより、円周上の引張応力が引張強度を越えないようにし、より正確なひびわれ解析を試みたものである。

図-2が解析に用いた計算モデルである。X、Y軸上のひびわれは支点をはずすことにより、円周上の他のひびわれは同一座標を持つ異なる節点により表現した。したがって、仮想ひびわれの進展により節点番号が変化するため、それぞれの段階で別々の計算モデルを用いた。

計算に必要な物性値は試験により定めたが、ヤング率 $2.36 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 0.2、引張強度 42.1 kg/cm^2 である。

結果と考察

図-3は、円筒表面の仮想ひびわれの進展を示している。すなわち、円筒表面の引張応力が引張強度に達する温度差 28.1°C で、1要素長分 ($d/H=0.1$ 、 d : ひびわれ深さ、 H : 円筒の厚さ) の仮想ひびわれが生じる。仮想ひびわれの分布は試算により調べたが、ひびわれ間隔がほぼひびわれ深さの2倍になっている。温度差が 33.8°C に達すると、ひびわれ先端の引張応力が引張強度を越えるので、さらに1要素長ひびわれを進展させる。このとき、1つの仮想ひびわれが進展すると、隣接するひびわれは消滅あるいは閉じることがわかる。同様にして、 38.4°C でさらに1要素長深くなるが、このとき隣接するひびわれは逆に1要素長浅くなる。ひびわれ発生の過程で、Main crack が進展すると、Side crack が閉じることが知られているが、この計算結果も同様の関係を示している。

図-4は、対クラックの進展を示したものである。すなわち、 $d/H=0.3$ までは円周上にほぼ均等に仮想ひびわれが進展するが、この後は対クラックのみが進展する。ひびわれが目で確認できるのは、対クラックが急速に進展する温度差 40.7°C より後と思われるが、実験結果によれば 43°C 以上の温度差で検出されている。図には、仮想ひびわれを1本と仮定した場合の結果も示してあるが、全般的にひびわれの

進展が速く、対クラックが急速に進展する温度差は、多数考慮した場合とかなりの差がある。したがって、仮想ひびわれを1本と仮定してしまうのは、適当ではないことも確認された。

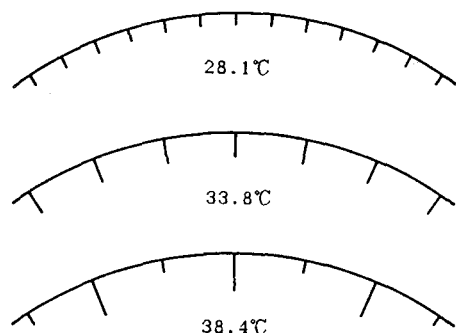


図-3

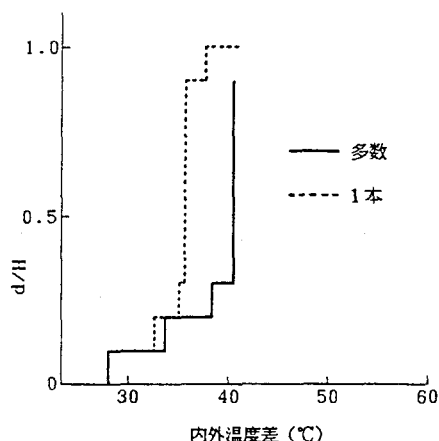


図-4

参考文献

- 1) 鈴木、田中、内田、六郷、小柳：各種条件下におけるコンクリートの破壊エネルギーと引張軟化曲線、コンクリート構造の破壊力学に関するコロキウム論文集、II, pp.87-90, 1990.
- 2) 秋田、山信田、尾坂：内外に温度差を受けるコンクリート製円筒のひびわれ特性、土木学会論文集、No.420, pp.219-228, 1990.