

名古屋大学工学部 正会員 二羽淳一郎

名古屋大学工学部 学生員 松尾 豊史

1. はじめに

コンクリートの破壊力学を応用することにより、ひびわれの発生が構造物強度に支配的な影響を及ぼすと考えられる各種の問題について、解析的な検討が進められている。特に、非線形の破壊力学によれば、強度の寸法効果を定量的に評価することができるので、大型構造物の設計に際して、有用な情報を提供することができる。ここでは、仮想ひびわれモデルと非線形ロッド要素を用いた解析手法¹⁾を用い、コンクリート中に埋込まれたアンカーボルトの引抜き強度を対象に、その寸法効果を評価することを試みる。

2. 解析対象および解析条件

現実に施工されるアンカーボルトは、一般にマッシュパなコンクリート中に埋込まれるものであり、引抜き破壊面も複雑な3次元形状となる。したがって、これを忠実にモデル化するとすれば、3次元解析が必要となる。しかしながら、ここでは解析手法の適用可能性検証と寸法効果に関する概略的な知見を得ることのみを目的として、2次元の平面応力問題とする。

解析対象は、図-1に示すような単位幅($b=1\text{cm}$)の無筋コンクリート板に埋込まれたアンカーボルトの引抜き破壊である。仮想ひびわれ位置を予め確定しておくために、予備解析として図-2に示す要素分割により弾性解析を行った。図-3は弾性解析により得られた主圧縮応力分布を示している。図より、アンカーヘッドと反力点を結ぶ大きな圧縮力の流れが確認された。そこで、ひびわれはこれに対応して発生すると予測し、アンカーヘッドと反力点を直線的に結ぶひびわれを仮定することとした。また、弾性解析の結果、アンカーヘッドよりも下側のコンクリートには大きな応力が発生しないことが確認されたので、解析の効率上、この部分を見捨てることとした。

図-4に寸法効果解析に使用した要素分割を示す。仮定

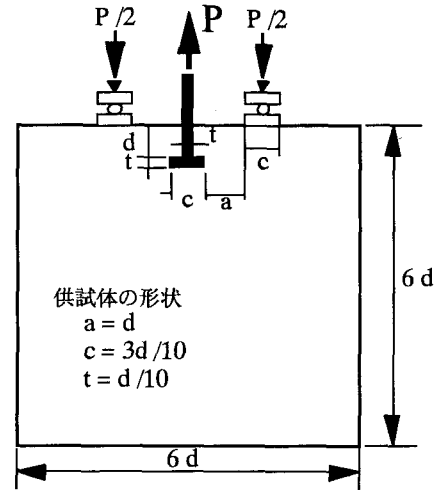


図-1 アンカーボルト供試体の形状

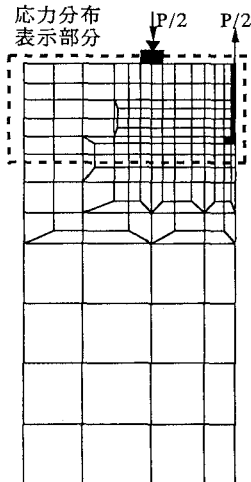


図-2 弾性解析用要素分割

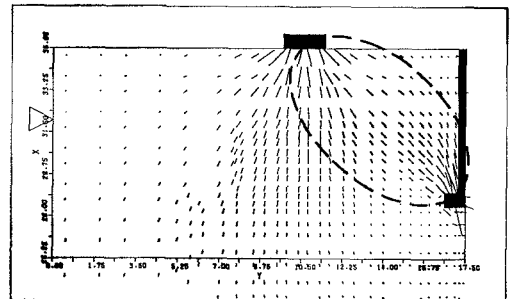


図-3 弾性解析による主圧縮応力分布

表-1 解析ケースとパラメータ

解析 ケース	破壊エネルギー G_F (kgf/cm)	引張強度 f_t (kgf/cm ²)	ヤング係数 E_c (kgf/cm ²)
#1	0.1	30.0	2.0×10^5
#2	0.1	30.0	3.0×10^5
#3	0.1	30.0	4.0×10^5
#4	0.1	10.0	3.0×10^5
#5	0.1	50.0	3.0×10^5
#6	0.05	30.0	3.0×10^5
#7	0.3	30.0	3.0×10^5

したひびわれに沿って、ひびわれと直角にロッド要素を配置した。ロッド要素の応力-ひずみ関係にはいわゆる1/4モデルの引張軟化曲線に対応するものを用いた。ロッド要素以外のコンクリートおよびアンカーは全て弾性体とし、4節点要素でモデル化した。引抜き強度の寸法効果に関係すると思われるパラメータとして、コンクリートの破壊エネルギー G_F 、引張強度 f_t 、ヤング係数 E_c を選び、表-1のように変化させた。アンカーの埋込み深さ d を1、10、50、100cmと変化させて、表-1のそれぞれのケースに対する計算を行なった。

3. 解析結果

図-5は破壊エネルギーの変化に伴う引抜き強度(P_{max}/bdf_t)の寸法効果を示している。図より、破壊エネルギーが小さいもの程、寸法の増大に伴う引抜き強度の低下が著しいことがわかる。図-6は解析により得られた引抜き強度と、埋込み深さとコンクリートの特性長さ(l_{ch})の比を両対数で示したものである。図より、両者の関係を直線で近似するならば、おおよそ次のような関係が成立することがわかる。

$$\frac{P_{max}}{bdf_t} = K \left(\frac{d}{l_{ch}} \right)^{-1/4} \quad (1)$$

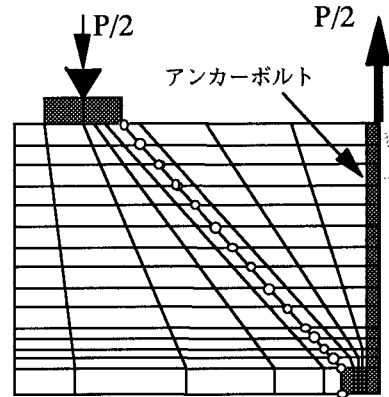
ただし、 K は定数である。

4. おわりに

今回の解析ではモードIの破壊エネルギーに相当するもののみを、ひびわれと直交方向に仮定したが、これによる寸法効果は埋込み深さの1/4乗に反比例することとなった。なお解析の精度向上のためには、せん断の影響、すなわち、ひびわれと平行方向の非線形性についてもさらに検討していく必要があるものと思われる。

参考文献

- (1) 二羽：非線形ロッド要素を用いたコンクリートはりの曲げ強度寸法効果解析、JCI年次論文報告集、1993



○：ロッド要素配置箇所

図-4 使用した要素分割

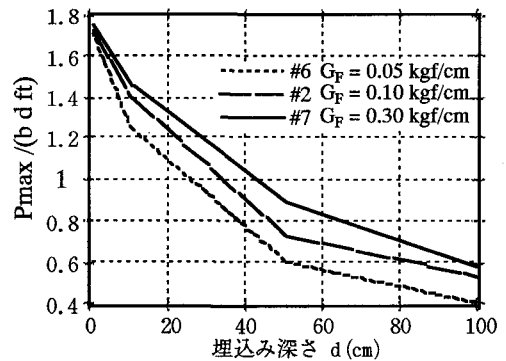


図-5 破壊エネルギーが寸法効果に及ぼす影響

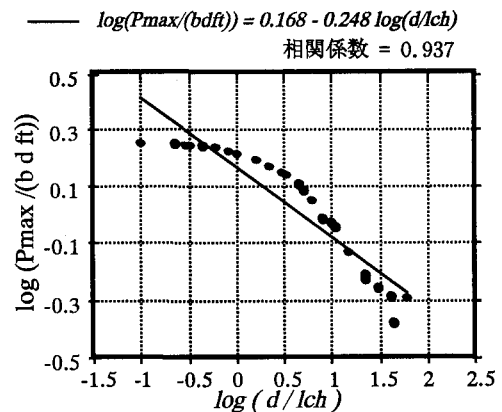


図-6 引抜き強度の寸法効果