

アンカーボルトの引き抜き挙動の数値解析

岐阜大学工学部 正会員 ○内田 裕市
 岐阜大学工学部 正会員 六郷 恵哲
 岐阜大学工学部 正会員 小柳 治

1. はじめに

本報告は、コンクリート中に埋め込まれたアンカーボルトの引き抜き破壊挙動を、引張軟化を考慮した有限要素法を用いて解析した結果である。供試体および載荷条件は RILEMの破壊力学委員会で募集されたアンカーボルトの Round Robin Analysis¹⁾のうちの平面応力の問題にしたがっている。ここでは、特に材料定数および供試体寸法の影響に関する解析結果を報告する。

2. 解析条件および解析モデル

解析対象は図-1に示すように、無筋コンクリート板中に埋め込まれた逆T字型のアンカーボルトを鉛直に引き抜く場合の破壊挙動である。埋め込み深さ($d=50, 150, 450\text{mm}$)および反力位置($a=d, 2d$)が解析のパラメータになっている。解析には有限要素法を用い、ひびわれモデルとしては、分布ひびわれモデルに仮想ひびわれモデルを組み込んだモデル²⁾を採用した。このモデルの特徴は、ひびわれの進展に対してエネルギー規準を導入するために、引張軟化時の応力-ひずみ関係を要素寸法に依存させている点である。また、ひびわれ要素のせん断特性のモデルとして、固定ひびわれモデルと回転ひびわれモデルの2種類を用いた。ただし、固定ひびわれモデルでは、せん断低減係数をゼロとしたモデルを用いた。要素分割を図-2に示す。供試体の対称性から、右半分のみをモデル化した。解析では、アンカーボルトの突起部の上面のみがコンクリートと付着しているとして、そこに強制変位を与えることで載荷した。解析に用いた材料定数パラメータは引張強度($f_t=3, 4\text{MPa}$)、弾性係数($E=30, 40\text{GPa}$)および破壊エネルギー($G_f=100, 150, 200\text{N/m}$)である。全部で16ケースについて解析を行なった。

3. 解析結果

表-1に解析時に入力したパラメータと解析結果の一覧を示す。最大荷重は、供試体の単位厚さ当たりの値であり、変位は最大荷重時における反力点に対するアンカー上面の相対変位量である。図-3と図-4は、材料定数、ひびわれモデルおよび供試体寸法と最大荷重の関係を示したものである。横軸は埋め込み深さ(d)を特性長さ $l_{ch}(=EG_f/f_t^2)$ で除し

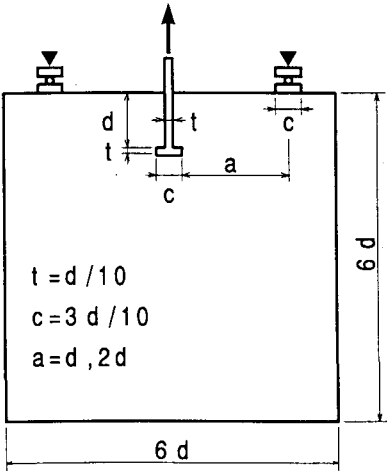


図-1 供試体の形状

表-1 解析パラメータと解析結果

Case	d (mm)	a	f_t (MPa)	E (GPa)	G_f (N/m)	ひびわれ モデル	最大荷重 (N/mm)	変位 (mm)
A	150	2d	3	30	100	回転	447	0.098
B	↑	↑	4	↑	↑	↑	486	0.098
C	↑	↑	3	40	↑	↑	480	0.138
D	↑	↑	↑	30	150	↑	501	0.192
E	↑	↑	↑	↑	200	↑	538	0.222
F	↑	↑	↑	↑	100	固定	459	0.124
G	↑	d	↑	↑	↑	回転	625	0.134
H	↑	↑	↑	↑	↑	固定	659	0.160
I	50	2d	↑	↑	↑	回転	192	0.047
J	↑	↑	↑	↑	↑	固定	199	0.091
K	450	↑	↑	↑	↑	回転	886	0.198
L	↑	↑	↑	↑	↑	固定	937	0.252
M	50	d	↑	↑	↑	回転	296	0.067
N	↑	↑	↑	↑	↑	固定	282	0.070
O	450	↑	↑	↑	↑	回転	1172	0.204
P	↑	↑	↑	↑	↑	固定	1246	0.216

(↑: 上段と同じ)

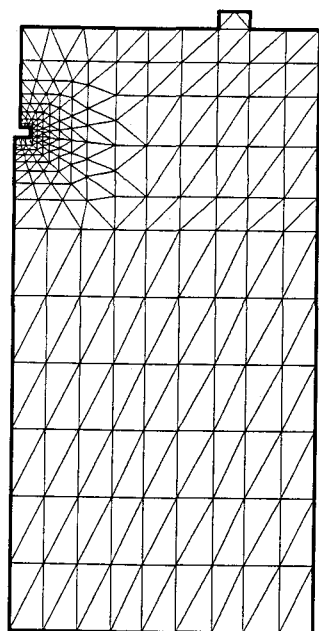


図-2 要素分割

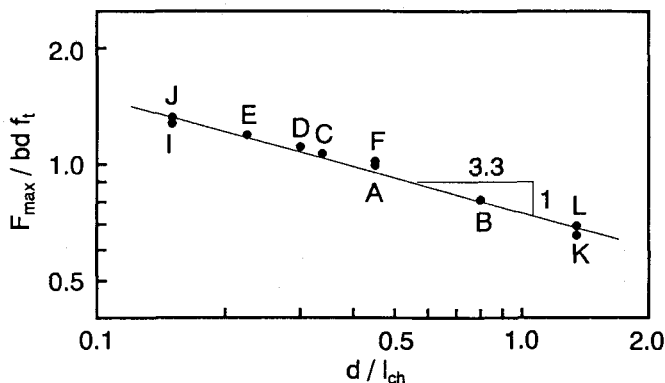


図-3 破壊強度と供試体寸法の関係(a=2d)

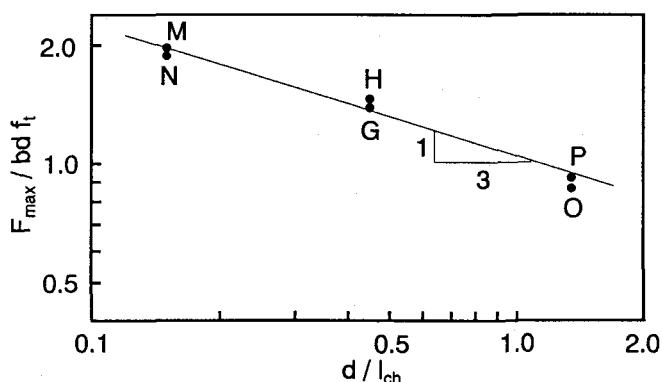


図-4 破壊強度と供試体寸法の関係(a=d)

て無次元化し、縦軸は最大荷重 F_{max} を bdf_t (b :供試体の厚さ)で除して無次元化している。同図より、解析結果はすべて直線上に乗っていることがわかる。この直線の傾きは、反力位置が異なると若干の差が見られるが、ほぼ $-1/3$ である。したがって、最大荷重は次式で表される。

$$F_{max} \propto b(EG_f f_t d^2)^{1/3}$$

これより、最大荷重は埋め込み深さの $2/3$ 乗に比例し、 $(EG_f f_t)$ の $1/3$ 乗に比例することになる。

なお、本解析の範囲では、固定ひびわれモデルと回転ひびわれモデルによる差はほとんど見られなかった。

4. まとめ

コンクリート板中に埋め込まれたアンカーボルトの引き抜き挙動に関して、有限要素法を用いたパラメータスタディーを行ない、破壊荷重と材料定数および供試体寸法との間の関係式を導いた。なお、ここで示した解析結果は、平面応力状態を仮定したもので、実際のアンカーとしては特種な条件であり、実用性の点で、今後は3次元問題に拡張して行く必要があると考えている。

【参考文献】

- (1) RILEM TC 90 - FMA Fracture Mechanics of Concrete - Applications: Round Robin Analysis of Anchor Bolts - Invitation, Materials and Structures, Vol. 23, January 1990, p.78.
- (2) 内田裕市, 六郷恵哲, 小柳 治: 仮想ひびわれモデルを組み込んだ分布ひびわれモデルによるコンクリートのひびわれ進展解析, 土木学会論文集投稿中.