

鉄建建設（株）技術研究所	正会員	益田 彰久
同 上	正会員	松岡 茂
同 上	正会員	土井 至朗

1、はじめに

コンクリートのひび割れ発生・進展を考慮した解析を行うため、様々な研究が行われている。筆者らは Dahlblom らが提案している仮想ひび割れモデルの概念を導入した分布ひび割れモデル、さらにひび割れ開口幅の増加によりせん断力の伝達が減少するというモデルを採用することにより、要素分割、要素形状またストレスロッキング等の影響が少ない有限要素法解析ができることを報告している¹⁾。本報告ではこの解析モデルにより、コンクリート構造の破壊に関する共通実験として行われているアンカーボルトの引き抜き破壊実験を対象に解析を行い、その適用性を確認した。

2、アンカーボルト引き抜き破壊実験

解析対象の実験として、Helbling ら²⁾ により行われた実験を参考にした。供試体を図-1 に示す。同実験を報告している Slowik ら³⁾ によると、供試体自重の影響を除去するために供試体下面に圧力を加えていることが報告されている。表-1 に実験パターンおよびコンクリート物性値を示す。

3、解析方法

圧縮側の応力-ひずみ関係については、圧縮強度までは実験条件に基づく弾性係数を与え、それ以降は圧縮強度を保ちながらひずみのみが増大するバイリニア型とした。引張側については引張強度までは圧縮側と同様の弾性変形とした。引張軟化曲線は図-2 に示すように破壊エネルギーにより Hordijk の式⁴⁾ を基にして定め、Wittmann ら⁵⁾ が逆解析手法により求めている2直線モデルのうちの第1直線勾配とした。この引張軟化曲線はひび割れ開口幅を要素寸法で除することによりひずみに換算し、応力-ひずみ関係に組み込んである。圧縮側の降伏条件は Drucker-Prager の降伏曲面に従うものとし、降伏以後の除荷は弾性係数に従うものとした。また引張側の除荷経路は原点に指向するものとした。要素の応力状態が引張軟化曲線上にある場合、次の解析ステップではそれらはすべて除荷経路に向かうものとして計算し、その結果が引張軟化曲線を越えるもののみ除荷経路に入っていないと判定して同ステップを再計算することにより、ひび割れの局所化を実現している。せん断剛性についてもひび割れの影響を受けると考え、筆者らが別報告で述べているひび割れ開口幅の

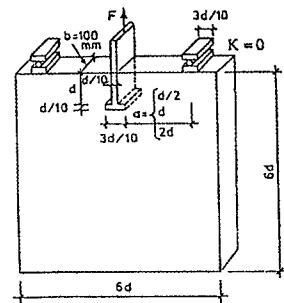


図-1 試験供試体

表-1 実験パターン・物性値

実験パターン	S1	S2	S3
d (mm)	150		
a (mm)	300	150	75
圧縮強度 (MPa)	39.3		
引張強度 (MPa)	37600		
破壊エネルギー (MPa)	93.17		

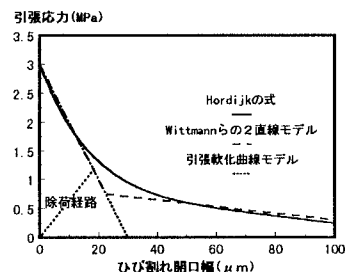


図-2 引張軟化曲線

キーワード：破壊力学、ひび割れ、有限要素法、アンカー引き抜き実験

連絡先：〒286 千葉県成田市新泉 9-1 TEL 0476(36)2355 FAX 0476(36)2380

増加につれせん断保持率が低下するようなモデルを導入した。
式(1)にせん断剛性を求める式を示す。

$$G = \beta \frac{E}{2(1-\nu)} \quad (1)$$

ここでG：ひび割れ発生要素のせん断剛性、E：弾性係数、
 β ：せん断剛性保持率、 ν ：コンクリートのポアソン比である。
 β はひび割れ幅 ω により式(2)で求められる。

$$0(\text{mm}) \leq \omega \leq 0.15(\text{mm}) \quad \text{のとき} \quad \beta = 1 - 6\omega$$

$$0.15(\text{mm}) < \omega \quad \text{のとき} \quad \beta = 0.015/\omega \quad (2)$$

4、実験および解析結果

アンカーから支承点までの距離を変えた3種類について解析を行い実験値と比較した。図-3に荷重-変位曲線を示す。また最大荷重時の荷重・変位量を表-2に示す。荷重は支承点における反力であり、変位量はアンカー底面とその下20cmに位置するコンクリート表面との相対変位量である。S2およびS3では最大荷重およびそれ以降の挙動について良好な結果が得られている。S1では最大荷重値は良好であるが変位量に大きな差が出てしまっており、またひび割れ発生状況をみると解析では実験で見られたようなひび割れパターンが得られていなかった。S1はアンカーと支承点が最も離れた条件であり、そのためひび割れ進展解析の誤差が大きくなってしまったものと考えられる。

5、まとめ

以上のように破壊力学に基づいた解析モデルおよびひび割れ開口幅に依存するせん断剛性のモデルを採用することにより、アンカーボルトの引き抜き実験が解析できたものと判断される。しかしアンカーと支承点が最も離れた条件では良いひび割れ発生パターンが解析から得られず、ひび割れの形状により荷重-変位曲線等は大きな影響を受けるため、実験と解析では大きな差がでてしまったものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 渡辺忠朋・松岡茂・武田康司：破壊力学に基づくRC部材のせん断耐力の研究、土木学会論文集（投稿中）
- 2) A.Helbing, A.M.Alvaredo and F.H.Wittmann：Round Robin Test Of Anchor Bolts、Round-Robin Analysis of Anchor Bolts、RILEM TC-90 FMA Fracture Mechanics of Concrete-Applications、Preliminary Report、1991
- 3) V.Slowik, A.M.Alvaredo and F.H.Wittmann：ANCHOR PULL-OUT TESTS - INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS AND MATERIAL PROPERTIES、Fracture Mechanics of Concrete Structures、Volume II、pp.1529-1538、1995.
- 4) Hordijk, P.A.：Local Approach to Fatigue of Concrete、Doctoral Thesis、Delft University of Technology、1991.
- 5) Wittmann, F.H., Roelfstra, P.E., Mihashi, H., Huang, Y-Y., Zhang, X-H. and Nomura, N.：Influence of Age of Loading, Water-Cement Ratio and Rate of Loading on Fracture Energy of Concrete, Materials and Structures, vol.20, No.116, pp103-110, 1987.

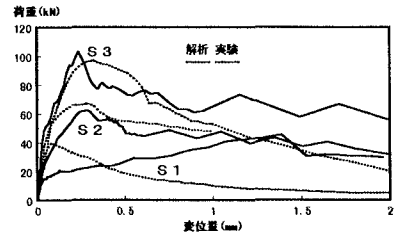


図-3 荷重-変位曲線

表-2 最大荷重時と変位量

実験パターン		最大荷重 (kN)	変位量 (mm)
S 1	実験	38.4 ± 1.8	0.083
	解析	45.8	1.389
S 2	実験	61.9 ± 5.2	0.255
	解析	62.5	0.290
S 3	実験	117.1 ± 12.6	0.248
	解析	103.2	0.237

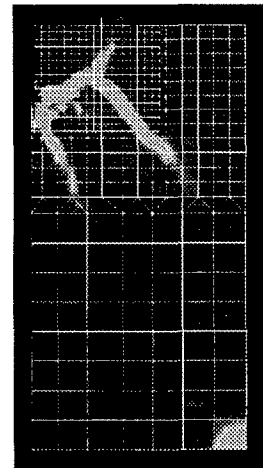


図-4 S2パターンの解析モデルとひび割れ発生状況