

コンクリートの曲げ強度に関する研究 (支承部の拘束条件と応力拡大係数)

正会員 岸谷 孝一^x 同 平居 孝之^{**}
同 ○ 村上 聖^{***}

1、はじめに 圧縮試験における端面摩擦が強度へ及ぼす影響については広範な研究報告がある。曲げ試験においても支承部の拘束が強度へ及ぼす影響を無視することはできない。特に、SFRCのように靱性の大きい材料の曲げ試験では、支承部の拘束が大きな問題となるのが最近指摘されている。本研究では、拘束の影響を定量的に示すために境界要素法(間接法)により解析を行ない、支承部の拘束の影響を検討した。き裂が存在する場合の強度を計算するために用いた応力拡大係数は、まだコンクリートの材料強度の指標として一般に認められている段階ではないが、これを調べることも目的である。

2、境界要素法(間接法)による応力拡大係数の解析方法とその精度

応力拡大係数の解析方法には種々あるが、境界要素法を用いて精度の良い結果が得られる可能性のある方法として、直接応力法および変位法・外力仕事による全エネルギー法・J積分法の4種類について検討した。応力法および変位法は、き裂先端近傍の応力 σ あるいは変位 v の解析値から、 $K_I = \sqrt{2\pi r} \sigma$ 又は、 $K_I = \frac{E'}{4} \sqrt{\frac{2\pi}{r}} v$ [$E' = E(平面応力)$ 、 $E/(1-\nu^2)$ (平面ひずみ)]により直接応力拡大係数 K_I を求める。その際、き裂先端からの距離 r に応じて誤差が含まれるので、種々の r で求められた K_I を $r \rightarrow 0$ に外挿した。全エネルギー法は、エネルギー解放率 G がき裂進展に伴うひずみエネルギーの変化 $\partial U / \partial A$ と $G = -\frac{\partial U}{\partial A}$ (変位拘束)、 $\frac{\partial U}{\partial A}$ (外力一定)の関係があることを用い、 $K_I = \sqrt{E'G}$ により求める。解析では $\partial U / \partial A$ を差分近似した。その際、き裂進展長 ΔA を十分小さくする必要があるが、要素分割の関係上種々の ΔA に対する K_I を $\Delta A \rightarrow 0$ に外挿した。J積分法は、Riceにより導入された径路独立積分 $J = \int_r (w dy - T \cdot \frac{\partial U}{\partial x} ds)$ を求め、弾性体では J が G に等しいことから $K_I = \sqrt{E'J}$ により求める。境界要素法による変位の偏微分値の計算は、基本解の偏微分値を重ね合わせる方法を用いた。

以上の解析方法により、中央にクラックのある帯板の一樣引張りについて精度解析を行なった結果が図-1である。応力法および変位法は要素分割を細かくする程理論値に近づいている。有限要素法に比べ、境界要素法は要素分割を細かくするにはそれ程労を要せず、応力法および変位法により K_I の計算が可能である。全エネルギー法・J積分法等のエネルギー法は要素分割の精粗によらず、かなり精度が良い。J積分法の場合、積分径路上の解析値に対する要素分割の影響が小さく、き裂進展の操作を必要としないのですぐれた解析方法である。

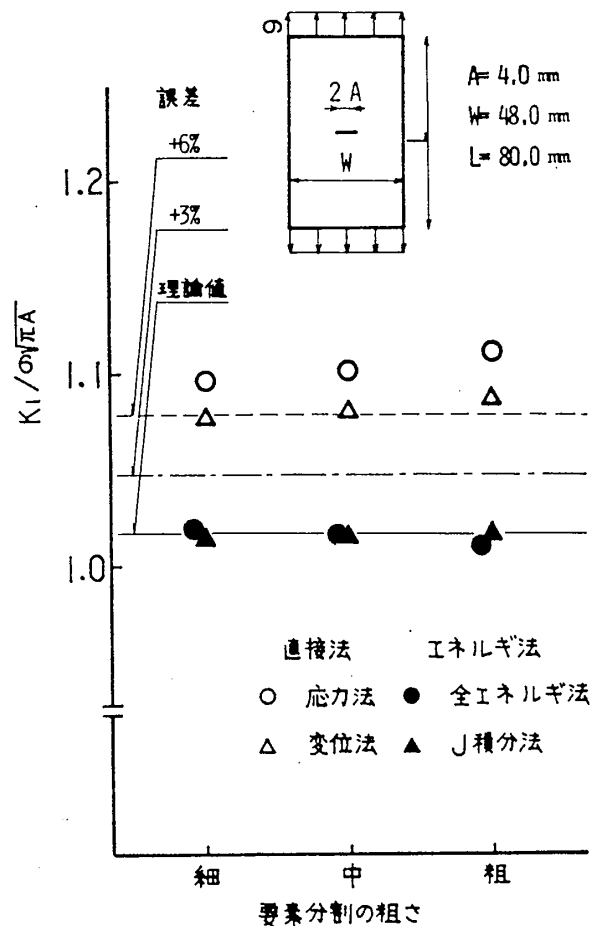


図-1. 中央にクラックのある帯板の一樣引張り
表-1. 拘束条件を変えた場合の最大引張り応力度
 σ_{fmax} と高応力体積 V (3等分点曲げ)

拘束条件	σ_{fmax} (kgf/cm ²)	V (cm ³)
0%	0.621 P	14.65
100/3%	0.511 P	12.73
200/3%	0.403 P	10.56
100%	0.294 P	7.99
平面保持と假定	0.600 P	26.25

3. 拘束条件を変えた場合の最大引張応力度と高応力体積

表-1に3等分点曲げについて拘束条件を拘束のない場合、完全拘束の場合、200/3%拘束（完全拘束のときの水平反力の200/3%の反力が支承部に作用）、100/3%拘束の場合の4種類で変えたときの最大引張応力度と高応力体積を示す。これから、同一荷重の場合、拘束が大きくなる程最大引張応力度が低下していることが分る。逆に、最大引張応力度が限界に達すると破壊が起るとすれば、拘束が大きくなる程最大荷重は大きくなり、平面保持の仮定に基づく強度算定式から換算される強度は完全拘束に近い場合には、実際より1.5~2.0倍程高く評価されることになる。

4. 拘束条件と応力拡大係数

3等分点曲げについて、拘束条件を上記の4種類で変えた場合の応力拡大係数の計算結果を図-2に示す。これから、拘束が大きくなる程き裂長の増加に伴う K_I の増加率が小さくなっており、破壊靱性が大きくなることが分る。完全拘束の場合、 A/W が0.2前後で K_I の増加は停止し、それ以上のき裂長で減少する特異な挙動を示す。このことから、拘束が完全拘束に近い場合、き裂の不安定成長が起る前にかなりの安定成長を伴う靱性の大きい材料（特に、SFRC）では、き裂が進展するにつれかなりの荷重の増大を伴うものと考えられる。

5. 曲げ強度

図-3にコンクリートの破壊靱性値(K_{Ic})が一定として予想される最大荷重を拘束のない場合に対する比率で示す。また、き裂長0の点に同一の最大引張応力度を得るのに必要な荷重を拘束のない場合に対する比率で示す。これから、拘束がある場合には、き裂長（潜在欠陥寸法）が大きくなる程強度が大きくなることが予想され、拘束が大きくなる程その傾向が顕著である。3に関連して、見掛けの強度はさらに大きく評価されると思われる。

6. まとめ

コンクリートの曲げ強度に対する支承部の拘束の影響をき裂が存在する場合は K_I により、そうでない場合は引張応力度と高応力体積から検討した。曲げ強度は支承部の拘束条件によって大きく影響され、拘束のない場合の数倍にもなり得るといふ解析結果が得られた。

文献 1) 越 小林、西村、今泉、"繊維補強コンクリートの曲げ挙動に及ぼす支承構造の影響" 生産研究、31巻11号(1979.11)、PP734~737

2) 大野、抄訳 "コンクリート系材料の引張強度と供試体形状の一般的关系" コンクリート工学、Vol.16, No.12, Dec.1978, PP38~40

(* 東京大学教授・工博、** 大分大学助教授・工博、*** 東京大学院生)

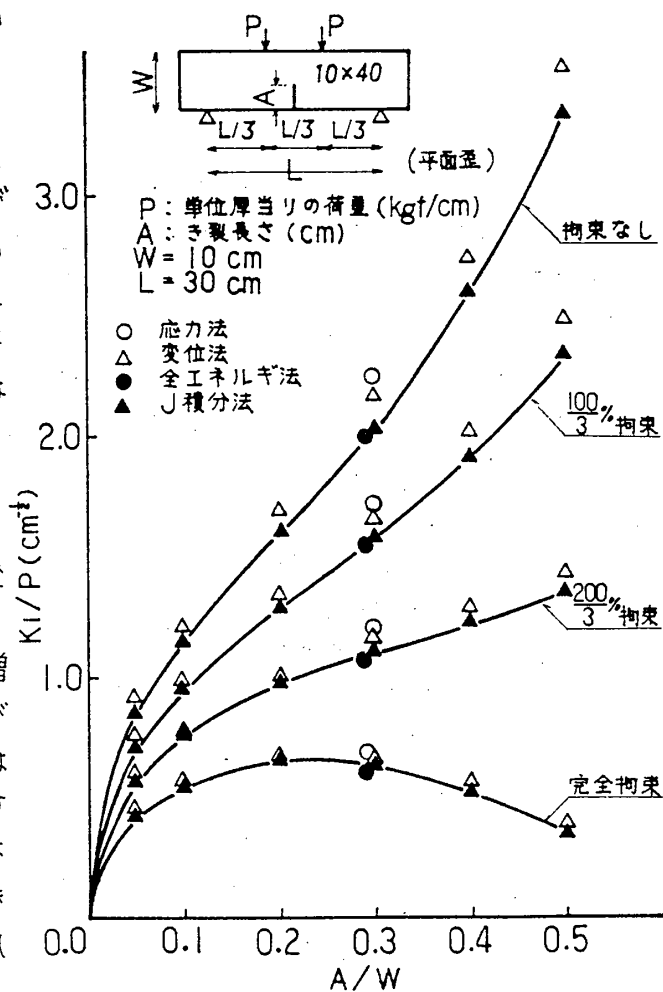


図-2. 拘束条件を変えた場合の応力拡大係数 K_I

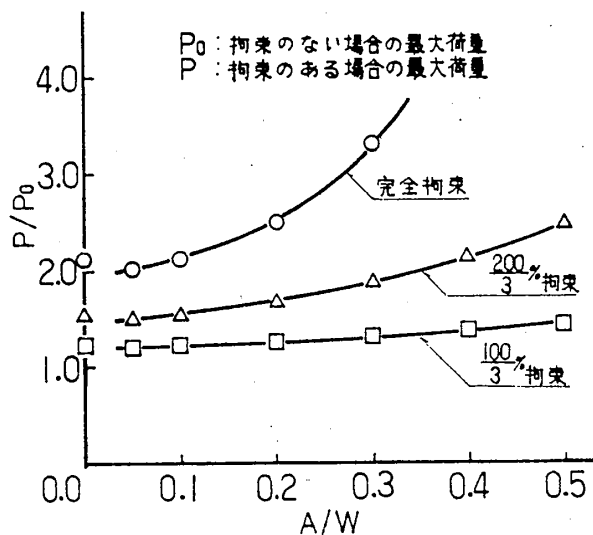


図-3. 破壊靱性値が一定として予測される最大荷重