

## [141] 局部的に大きな荷重を受けるコンクリートの弾性応力分布と耐力

正会員 河村博之（九州産業大学工学部）

### 1. まえがき

コンクリートプレキャスト部材間の接合、或いは設備機器や内部造作材のコンクリートへの取付などを対象に、コンクリートに局部的に大きな荷重が加わった場合の耐力について、接合面での力の伝達方向により、内部から接合面に垂直な引抜力を受ける引張接合、接合面に垂直に圧縮力を受ける圧縮接合、接合面方向にずらそうとする力を受けるせん断接合に分けて、それぞれの基本的なタイプについての破壊実験を行うとともに、同じ供試体の弾性応力解析を行い、破壊面の弾性応力分布から耐力が推定できることを報告してきた<sup>(1)</sup>。本論文では便宜上区別されている各種の接合も、破壊条件比応力分布のタイプからは明確に引張系破壊と圧縮系破壊の二種類のみに分けることができることを示し、この両者の応力分布の特徴と耐力推定法について述べ、既報告の総括編として、「任意の局部荷重」を受けた場合のコンクリート耐力の推定法について述べる。但しここでは、局部応力が大きい部分の鉄筋による効果ある補強は、通常の配筋では困難な場合が多いので、これを無視した耐力は実用上は安全側となるから、補強筋の影響については言及しない。

### 2. 弾性応力と耐力との関係

#### 2. 1 組合せ応力の破壊条件比応力による表示

弾性応力分布と可視的な破壊との関係を求める場合、組合せ応力を一次元化するために、図-1のように任意点の組合せ応力Aを主応力 $\sigma_1 - \sigma_2$ 座標で現わし、同じ組合せ応力比を持つ一様応力時の破壊条件（ここでは修正グリフィスの破壊条件を使用した）上の点をBとすると、 $\sigma_{\text{crit}} = \overline{OA} / \overline{OB} = \ell / \ell_c$ を「破壊条件比応力」と名付け、この応力分布と耐力の関係を求めた。

#### 2. 2 弾性応力分布と耐力の関係を求めるのに使用した実験供試体形状と種類

弾性応力と耐力との関係を求めるために、平板状の図-2のような約224種類1091体の供試体による破壊実験を行い、この供試体総てについて三角形要素による有限要素法により弾性応力を求めた。要素の分割は、応力集中の大きなところは再分割法により、あらかじめ要素の大きさと精度との関係を調べておき、三角形要素の一辺の長さが約0.6 mmになるまで細分した。

#### 2. 3 引張系破壊と圧縮系破壊2タイプの破壊条件比応力分布の特徴

これらの実験供試体の破壊線（ひびわれ線）の主なものを図-2に記入したが、この破壊線上の破壊条件比応力分布は、図-3に示すように、ひびわれが主応力 $\sigma_2$ 方向に生じ、ひびわれ発生点近くが極めて大きな応力集中を示し、破壊線上の距離とともに双曲線的に減少する「引張系破壊」と、ひびわれが主せん断応力 $|\tau|_{\max}$ 方向か $\sigma_2 + \phi$ （ $\phi = \cos^{-1}[(\sigma_1 - \sigma_2)/\{2(\sigma_1 + \sigma_2)\}]/2$ ）方向に生じ、あまり大きな応力集中を示さず、加力点付近より少し離れた点で極値を示す「圧縮系破壊」に大別することができる。さらに、破壊線上の破壊時組合せ応力が、どのような位置から破壊条件に近づいているかを示すと図-4のように、それぞれの加力法により異なっているにもかかわらず、1~3タイプの破壊条件比応力分布は図-3の引張系破壊分布を示し、4タイプは圧縮系破壊分布を示す。加力位置と支持位置の関係からみると、加力点の直下で支持され、かつ表面に荷重が加わった場合のみ圧縮系破壊分布を示す。

#### 2. 4 引張系破壊条件比応力分布の見掛けの塑性域とその終端点での応力勾配

引張系破壊の $\sigma_2$ 方向に沿った破壊条件比応力分布曲線は、前記のように双曲線的であり、初ひびわれ発生点が荷重端である場合には弾性解析では特異点になることが多いが、実際にはマクロ的にみれば図-5のように、材料の破壊条件を越えた部分では局部的に降伏し、2軸応力状態では破壊面に垂直方向の応力は解放されるが、これに直交する方向の応力のみが残されるであろうから、面積 $[E]$  = 面積 $[P]$ と

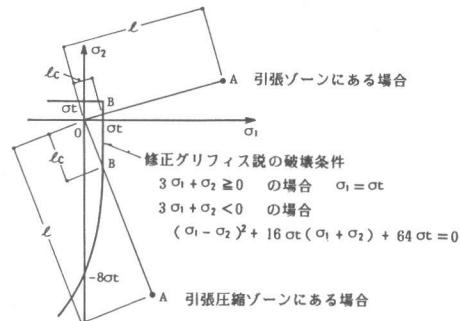
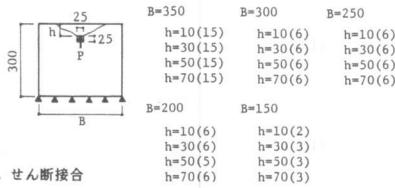


図-1 破壊条件比応力

### 1. 引張接合

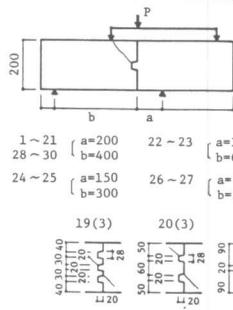
#### (1) 引張支承・中心引張



#### 2. せん断接合

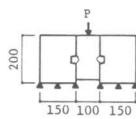
##### (a) シアースパンの長い場合

##### (4) 大野式逆対称せん断加力法

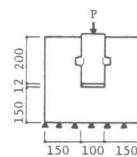


##### (b) シアースパンの短い場合

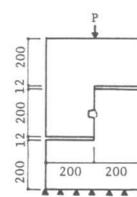
##### (5) 押抜法A



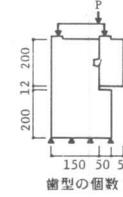
##### (6) 押抜法B



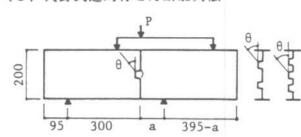
##### (7) S型間接一面せん断



##### (8) L型直接一面せん断



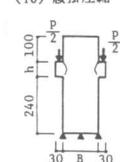
##### (9) 大野式逆対称せん断加力法



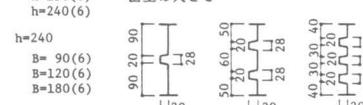
##### 歯型の個数

- 1個  $\theta = 45^\circ(6), 26.6^\circ(6), 15^\circ(6), 0^\circ(6)$
- 2個  $\theta = 45^\circ(6), 26.6^\circ(6), 15^\circ(6), 0^\circ(6)$
- 3個  $\theta = 45^\circ(6), 26.6^\circ(6), 15^\circ(6), 0^\circ(6)$

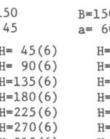
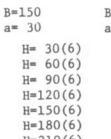
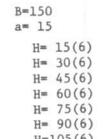
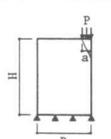
##### (10) 腰掛圧縮



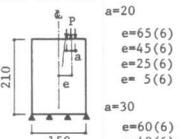
##### 歯型の大きさ



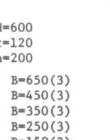
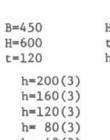
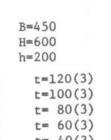
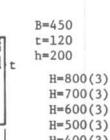
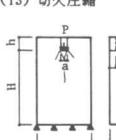
##### (11) かかり圧縮



##### (12) 偏心圧縮



##### (13) 切欠圧縮



##### (14) 腰掛圧縮

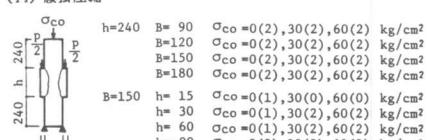


図-2 データに使用した実験供試体の種類

( ) 内は供試体の数  
板厚 (1) ~ (13) = 4 mm  
(14) = 10 mm

なるように力の釣合を保ちながら、破壊条件比応力分布は  $A \rightarrow B \rightarrow C$  のように、また 1 軸応力状態では  $O \rightarrow A' \rightarrow B \rightarrow C$  のように推移すると考えられる。斜線部分の面積  $[E]$  は、破壊部分から解放されるエネルギーに関係すること、コンクリートのような脆性材料の引張破壊では塑性域  $r_p$  はそれほど大きくないこと、また、破壊は応力勾配に関係することなど

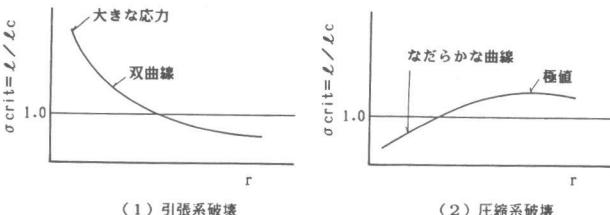


図-3 破壊条件比応力  $\sigma_{\text{crit}}$  - ひびわれ発生点からの距離  $r$  曲線

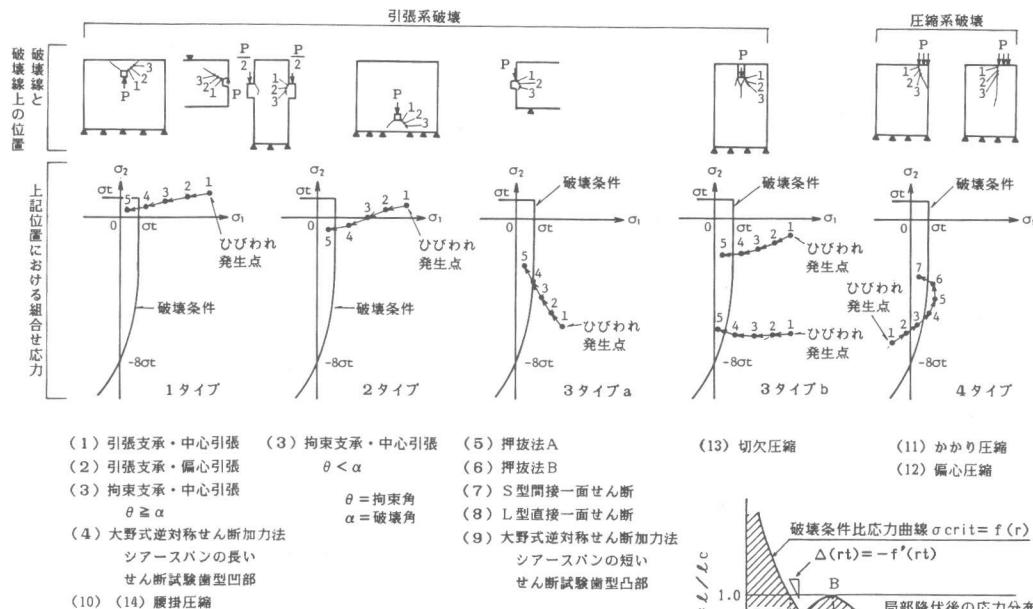


図-4 破壊線上の組合せ応力と破壊条件関係

を考慮して、初ひびわれ発生点  $r = 0$  から破壊条件比応力  $\sigma_{\text{crit}} = 1$  となる点  $r = r_t$  までを「見掛けの塑性域」とし、破壊に関するマクロな要因として、見掛けの塑性域  $r_t$  の大きさとその終端点での応力勾配  $\Delta = -\sigma'_{\text{crit}}$  を取り上げ  $\Delta - r_t$  関係をプロットすると図-6の1～3のようになり、すべてに同様な極めて大きな相関性がある。この関係を双曲線  $\Delta = g(r_t) = a / (r_t + b) + c$  で表わすと  $a = 0.91$ ,  $b = 0$ ,  $c = -0.10$  が得られた。

## 2.5 圧縮系破壊条件比応力分布とその極値

圧縮系破壊では、 $|\tau|_{\max}$  および  $\sigma_2 + \phi$  方向の破壊条件比応力分布曲線はほぼ同じで、前記のようになだらかな曲線を示すが、極値は約 1.6～1.7 の範囲にあり、平均 1.65 である。

## 3. 弹性応力分布からの耐力の推定

これらの実験データから、次のように弾性解析を行い耐力を推定することができる。

まず予想される破壊線、特に  $\sigma_1$  の大きな所から  $\sigma_2$  方向に沿った線、 $|\tau|_{\max}$  および  $\sigma_2 + \phi$  方向

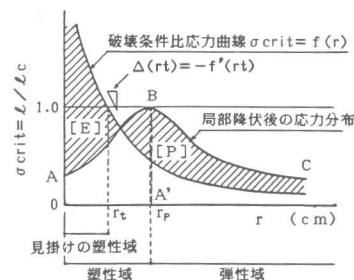


図-5 破壊条件比応力曲線と見掛けの塑性域  $r_t$

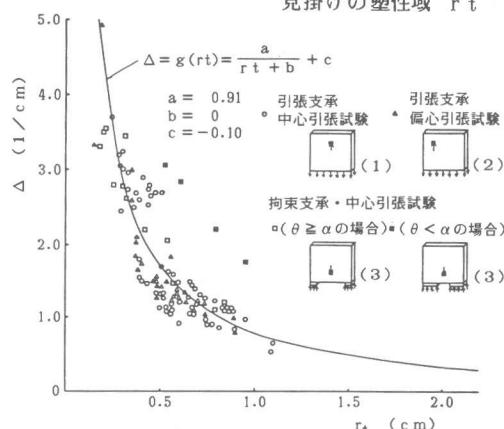


図-6の1  $\Delta - r_t$  曲線

線等の想定破壊線上の解析荷重時破壊条件比応力分布曲線を求める。引張系破壊を示すか圧縮系破壊を示すかを区別する。どちらか区別がつきにくいときは、両方別々に算出し、耐力が小さく求まった方で破壊すると考えればよい。

### a) 引張系破壊の耐力

まず荷重  $P_o$  を受けた場合について、 $\sigma_1$  の極値を示すところから  $\sigma_2$  方向の想定破壊線上の距離  $r$  と、その点の組合せ応力  $\ell_o$  を使用コンクリート強度から求めた修正ゲリフィス破壊条件上の組合せ応力  $\ell_c$  で

除した破壊条件比応力曲線  $\sigma_{ocrit} = f_o(r)$  を求め、次に  $\Delta o = -f_o'(r)/dr = -f_o'(r)$  曲線を求める。一方、 $\Delta(r_t) = g(r_t) = a/(r_t + b) + c$  —(1) ここに  $a = 0.91$ ,  $b = 0$ ,  $c = -0.10$  の関係があり  $\sigma_{ocrit} = f(r) = 1$  となる  $r = r_t$  とその点の  $\Delta(r_t)$  の関係が一義的に定められるものとすれば、解析荷重  $P_o$  と破壊荷重  $P_u$  の比から  $P_o/P_u = f_o(r_t) = -f_o'(r_t)/g(r_t) = 0$  —(2) が成り立ち  $f_o(r_t) = -f_o'(r_t)/g(r_t)$  —(3) を満たす  $r_t$  を求めることができれば、 $P_u = P_o/f_o(r_t)$  —(4) から  $P_u$  を求めることができる。

ここに  $P_o$  : 単位厚さ当たりの解析荷重  $P_u$  : 単位厚さ当たりの破壊荷重

$f_o(r), f(r)$  : それぞれ解析荷重時、破壊荷重時の破壊条件比応力曲線

$\Delta o = -f_o'(r)$ ,  $\Delta = -f'(r) = g(r)$  : 同上の応力勾配

また、図-7に示すように ①～⑥のイ～トの手順に従い作図によっても求めることができる。  
① 荷重  $P_o$  が作用したときの想定破壊線上の距離  $r$  と  $\sigma_{ocrit}$  分布曲線を求める。② この図から  $\Delta o - r$  曲線を求める。③  $\Delta - r_t$  曲線を記入し、④  $\Delta o/\sigma_{ocrit}$  曲線を求める。⑤ ③と④の交点が求める  $r_t$  で、⑥  $P_u = P_o/f_o(r_t) = P_o/\sigma_{ocrit}$  となる。

### b) 圧縮系破壊の耐力

荷重  $P_o$  を受けたとき、破壊条件比応力  $\sigma_{ocrit}$  が大きくなる点から  $\sigma_2 + \phi$  方向の破壊条件比応力分布とその極値  $f_o(r)_{max}$  を求め、 $\sigma_{ocrit}$  の極値が約 1.65 であることから  $P_u = 1.65 \times P_o / f_o(r)_{max}$  により求まる。

### 4.まとめ

局部的に大きな任意荷重を受けたコンクリートの彈

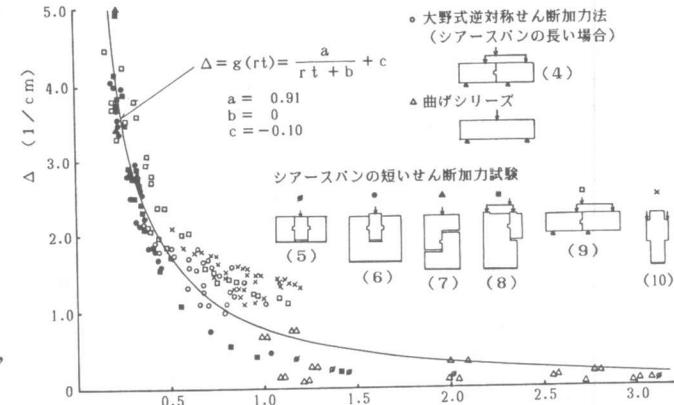


図-6の2  $\Delta - r_t$  曲線

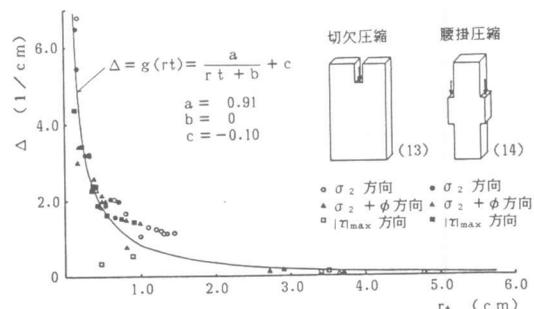


図-6の3  $\Delta - r_t$  曲線

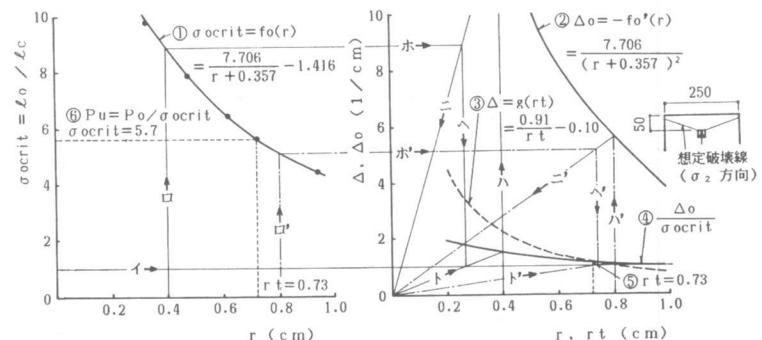


図-7 実例による破壊荷重推定

性応力分布からの耐力推定法をまとめて示した。弾性解析には有限要素法を用いたが分割を細かくする必要があるので、自動分割により想定破壊線上の応力分布を求めるプログラムを作成し、使用した。

(1) 「プレキャスト鉄筋コンクリート接合部耐力についての基礎的研究」：河村博之 日本建築学会論文報告集第 344 号 昭59年10月

「同上題目」：河村博之 日本建築学会構造系論文報告集第 352 号 昭60年 6月 および 第 353 号 昭60年 7月