

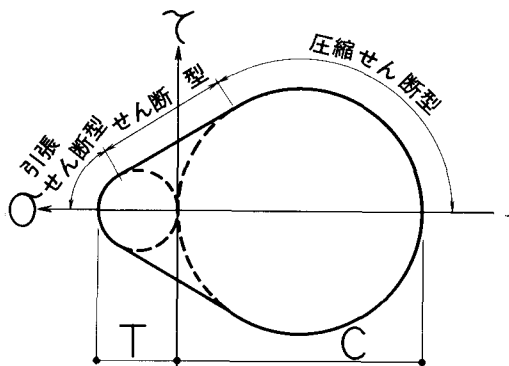
間組 技術研究所 正会員 吉 川 弘 道
 間組 技術研究所 " 草 深 守 人
 名古屋大学 " 田 辺 忠 顕

1 ま え が き

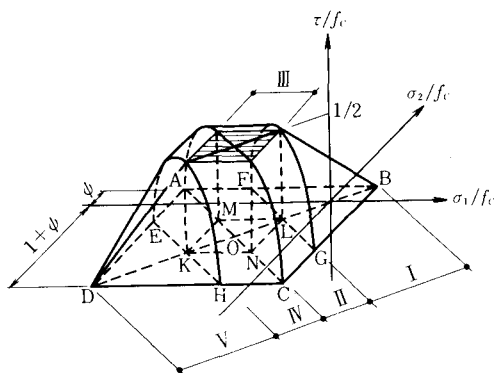
・塑性理論 (plastic theory) は材料を完全塑性体に仮定し、構造部材の終局耐力を求めるもので、極限解析 (limit analysis) とも呼ばれる。本理論を用いると、材料の簡単な仮定のもとに、終局時の耐力が解析的に与えられ、多くの分野で用いられてきた。Prager, Drucker は上下界定理により塑性理論の一般理論を確立し、コンクリート部材においては Jensen, Nielsenらの適用例がよく知られている。本文は、特に面内力を受けるRC平板のせん断耐力について検討し、2.3の実験結果と照合するものである。

2 平面応力場における降伏条件

・塑性理論をRC平板の面内力場に適用したものととして、小野・田中¹⁾, Nielsen²⁾の研究が挙げられる。これらの降伏条件を等量直交配筋について示すと図1が得られる。小野・田中 (図1・a) はMohrの降伏則を採用し、単軸引張強度 T 、単軸圧縮強度 C の応力円とこれらをつなぐ接線によって降伏条件を記述している。Nielsen (図1・b) は、直応力 σ_1, σ_2 とせん断応力 τ を主軸とする応力空間において、領域Ⅰ～Ⅴにモデル化した降伏曲面を提案している。領域Ⅰ、Ⅴは両方向鉄筋の引張降伏または圧縮降伏により部材耐力が決まり、領域Ⅱ、Ⅳでは一方向が鉄筋降伏、他方向がコンクリート圧壊となり、領域Ⅲは鉄筋量に関係しないせん断補強限界を示すものである。このように両者の降伏条件は異なるもので、シミュレーションまたは実測値との対比を行うことによって定量的に比較する必要がある。



(a) $\sigma - \tau$ による表示 (小野・田中¹⁾)



(b) 降伏曲面による表示 (Nielsen²⁾)

図-1 塑性理論による降伏条件

なお、本文では次に示す3個の無次元量を用い、諸算定式および異なる条件下の実測結果を統一的に表現した。

$$\left. \begin{aligned} \text{せん断応力} \quad \eta &= \tau / f_c \\ \text{軸 応 力} \quad \xi &= \sigma_o / f_c \\ \text{鉄 筋 係 数} \quad \phi &= p f_y / f_c \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

上式で、 p は鉄筋比、 f_y, f_c は鉄筋の降伏強度とコンクリートの圧縮強度を示す。

3 適 用 例

・これらの降伏条件を純せん断時および一方向軸力とせん断を受ける場合について検討を行ない、実測結果との照合を行う。まず、図1・aによる降伏条件を適用し、基準となる単軸圧縮強度を $C = (1 + \phi) f_c$ 、単軸引張強度を $T = \phi f_c$ とすると、純せん断耐力は次式のように表わせる。

$$\eta = \phi (1 + \phi) / 1 + 2\phi \quad (2)$$

・一方、図1・bによる降伏条件を用い、せん断補強限界 (領域Ⅲ) でコンクリートの圧縮強度に関する有効係数 ν (effectiveness factor) を導入すると式(3)のように記述される。

$$\eta = \begin{cases} \phi & (\phi \leq 0.5 \nu) \\ 0.5 \nu & (\phi > 0.5 \nu) \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

有効係数 ν ($0 < \nu < 1$) は、コンクリートの斜め圧縮材が f_c より小さい値で圧壊に至ることを考慮するもので、多くの研究者(図4脚注参照)によって指摘されている。両条件式を実測値とともに図2に示す。2方向の鉄筋係数が異なる場合、本文では等価鉄筋係数 $\phi = \sqrt{\phi_1 \phi_2}$ として扱った。図2から判断されるように、通常の鉄筋係数の範囲では両降伏条件に大きな差異がなく、実測値とも良好な一致を見ることができる。しかし、 ϕ が増大するに従って、実測値はばらつきが大きくなり、理論値とも対応しているとは言い難い。

次に、一方向に軸応力 σ_o を受けるRC平板の面内せん断耐力を考える。図1・aによる降伏条件は、

$$\eta = \sqrt{\phi(1+\phi)(\phi-\xi)(1+\phi+\xi)} / 1+2\phi \dots\dots\dots(4)$$

となり、図1・bによるものを用いると次式となる。

$$\eta = \begin{cases} \sqrt{\phi(\phi-\xi)} & (\text{領域 I}) \\ \sqrt{\phi(\nu-\phi)} & (\text{領域 II}) \\ \sqrt{-(\phi+\xi)(\nu+\phi+\xi)} & (\text{領域 IV}) \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

これらを実験結果($p = 1.0\%$ 、 $\phi = 0.207$)に適用したものを図3に示す。Nielsenによる条件式は有効係数 ν の与え方で異なるが、 ξ の増大に従って小野・田中による条件式より大となっている。また、いずれも実測値とはほぼ一致し、軸応力の大小に伴う面内せん断耐力の変化をよく説明していると言える。

4 せん断補強限界強度

これまでの考察によると、 ξ 、 ϕ の小さい場合(図1・bで領域Iにあたる)では両者の降伏条件はほぼ同じで実測結果とも一致するが、 ξ 、 ϕ の増大するいわゆる over-reinforced の状態ではさらに検討を要することが判断される。そこで、Nielsenによる耐力式 $\eta = 0.5 \nu$ を用い、CCV関連の実験式と対比させ、図4に示した。一般に f_c の増加に伴い η が減少し同様の傾向を示しているが、ばらつきが大きく、適確な ν の選定が肝要と思われる。

5 あとがき

・塑性理論は明快な解析解を与え、さらに本文で提案した無次元量による表示法を用いれば、 f_c と f_y に無関係な簡略した形式に表現でき、設計手法への展開が期待される。しかし、over-reinforcedの領域で充分とは言えず、理論の精密化が必要である。

【参考文献】

- 1) 小野、田中：鉄筋コンクリート壁体の Limit Design、建築学会論文集、1954年
- 2) Nielsen, On the Strength of Reinforced Concrete Discs, Acta Polytechnica Scandinavica, 1971年
- 3) Vecchio, Collins: Stress-Strain Characteristics of R.C. in Pure Shear, IABSE 1981年
- 4) 吉川、飯田、角、中川、山縣：CCVのせん断挙動に関する研究(その1、その2) 間組研究年報、1982年
- 5) Ohsaki, Ibe, Aoyagi: Drafted Japanese Design Criteria for Concrete Containment SMIRT-6, 1981年

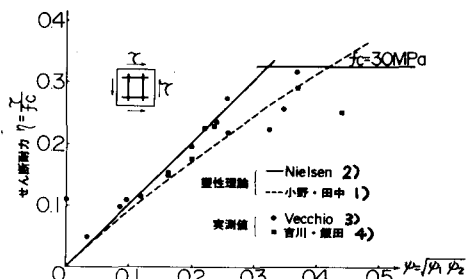


図-2 純せん断耐力(ϕ - η 関係)

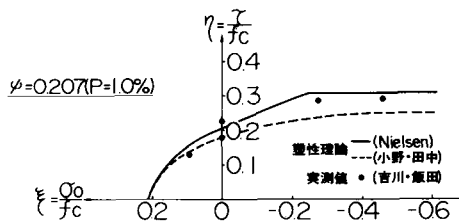


図-3 軸力を受けた時のせん断耐力(ξ - η 関係)

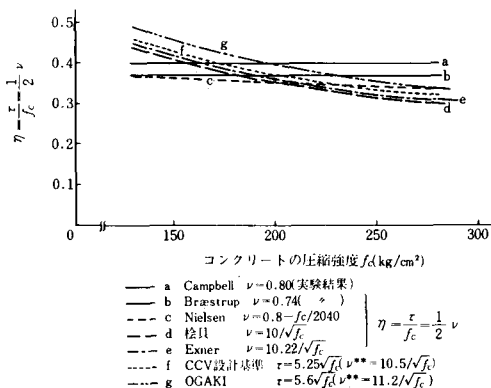


図-4 せん断補強限界強度