

塑性理論による面内せん断耐力式と各種算定式との比較

PLASTIC THEORY FOR THE IN-PLANE SHEAR STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE PANELS IN COMPARISON WITH THE MAJOR FORMULAE

吉川 弘道*・田辺 忠顕**

By Hiromichi YOSHIKAWA and Tada-aki TANABE

The applicability of the plastic theory by M. P. Nielsen to predicting the in-plane shear strength of reinforced concrete is discussed. The plastic theory is compared with both the diagonal compression field theory by M. P. Collins and the drafted Japanese design criteria for concrete containment vessels. It is found that those three theories provide reasonably good agreement with experimental results.

Keywords: Plastic theory, in-plane shear strength, reinforced concrete panel, effectiveness factor, diagonal compression field theory, nondimensional description, failure modes, over reinforcement

1. まえがき

面内力を受ける鉄筋コンクリート平板のせん断耐力に対する精度の良い評価手法の要請は、近年の壁式あるいは中空円筒状の重要大型鉄筋コンクリート構造物の計画・建設を契機とするもので、精力的に研究がなされてきた。このような背景のもとに、著者らは、解析的手法を中心として、面内せん断耐力の評価手法についての検討・報告を行ってきた^{1)~3)}。これらのうち既報³⁾では、特に塑性理論による耐力評価手法を取り上げ、その特徴と運用方法を明らかにした。

本研究は、塑性理論による面内せん断耐力評価手法に関して、その適用性・有効性を検討するため、既往の主要算定式との比較・実験結果との照合を行うものである。このため、斜め圧縮場理論(Collins⁴⁾)およびわが国におけるコンクリート製格納容器(CCV)の設計基準(Ohsaki et al.⁵⁾)を取り上げた。併せて、コンクリート圧壊先行時の面内せん断耐力算定においてきわめて重要となる、コンクリートの有効係数についても若干

の検討を試みた。

2. 塑性理論による面内せん断耐力式

塑性理論は、終局状態に着目し、簡略した仮定のもとに最大耐力に関する解析解を与えるものである。したがって、本理論は荷重初期からの変形過程を取り扱うことはできないが、簡略化した仮定のもとに合理的かつ一貫性のある算定式を得ることができ、これまでに鋼構造、土質材料、コンクリート部材などの多くの応用例を有する⁶⁾。

本研究で対象とする部材は、図-1に示すような面内力(直応力 σ_1 , σ_2 およびせん断 τ)のみを受ける鉄筋コ

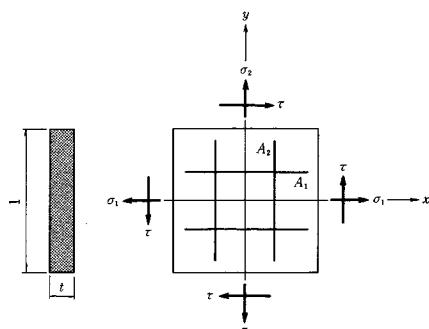


図-1 面内力 σ_1 , σ_2 , τ を受ける鉄筋コンクリート部材

* 正会員 工博 武藏工業大学講師 工学部土木工学科
(〒158 世田谷区玉堤1-28-1)

** 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科
(〒464 名古屋市千種区不老町)

ンクリート平板とし、厚さ方向は均一とする。鉄筋は直交配筋とし、おのおの X 軸、Y 軸に一致するものとする。

まず、コンクリートの圧縮強度 f_c によって除した、3種類の無次元量を定義する。ここで、 f_y は鉄筋の降伏強度、 p_1 と p_2 はおのおの X 軸、Y 軸方向の鉄筋比である（添字 1, 2 はおのおの X 軸、Y 軸方向を表すものとする。添字が省略されているときは両方向が同一量であることを意味する）。

$$\eta = \frac{\tau}{f_c} \quad (1)$$

$$\xi_1 = \frac{\sigma_1}{f_c}, \quad \xi_2 = \frac{\sigma_2}{f_c} \quad (2)$$

$$\psi_1 = \frac{p_1 f_y}{f_c}, \quad \psi_2 = \frac{p_2 f_y}{f_c} \quad (3)$$

すなわち、 η はせん断力、 ξ は軸力、 ψ は鉄筋比に関する無次元表示であるといえる。また、 τ 、 η は最大耐力を表すものとする。

著者らは、Nielsen らによる鉄筋コンクリート平板を対象とした面内せん断耐力評価手法^{7), 8)}を基本とし、これを無次元表示に書き換え、より一般的な耐力評価式へと発展させた³⁾。これによると、これら 3 種の無次元量によって塑性理論による面内せん断耐力評価式を 5 つの破壊モードすべてに対して記述することが可能である。すなわち、

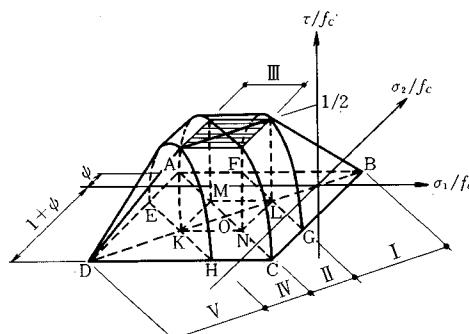
領域 I : $\xi_1 + \xi_2 \geq -(1 - 2\psi)$

$$\eta = \sqrt{(\psi - \xi_1)(\psi - \xi_2)} \quad (4)$$

領域 II : $-1 \leq \xi_1 + \xi_2 \leq -(1 - 2\psi), \quad \xi_1 \geq -\left(\frac{1}{2} - \psi\right)$

$$\eta = \sqrt{(\psi - \xi_1)\{1 - (\psi - \xi_2)\}} \quad (5)$$

領域 III : $-\left(\frac{1}{2} + \psi\right) \leq \xi_1, \quad \xi_2 \leq -\left(\frac{1}{2} - \psi\right)$



(a) 降伏曲面による表示

$$\eta = \frac{1}{2} \quad (6)$$

$$\text{領域IV} : -(1 - 2\psi) \leq \xi_1 + \xi_2 \leq -1, \quad \xi_1 \leq -\left(\frac{1}{2} + \psi\right)$$

$$\eta = \sqrt{-(\psi + \xi_2)\{1 + (\psi + \xi_2)\}} \quad (7)$$

$$\text{領域V} : \xi_1 + \xi_2 \geq -(1 + 2\psi)$$

$$\eta = \sqrt{(1 + \psi + \xi_1)(1 + \psi + \xi_2)} \quad (8)$$

領域 I は、X、Y 両方向鉄筋の引張降伏によってせん断耐力は決定され、対称的に領域 V は両鉄筋が圧縮降伏となる。領域 II、IV はこれら中間にあり、領域 II では一方向の鉄筋が引張降伏後コンクリート圧壊となり、領域 IV では一方向の鉄筋が圧縮降伏後コンクリート圧壊となる。領域 III は、これら 4 領域の頂点に位置し、コンクリート圧縮強度 f_c のみで決定される、いわゆる over-reinforced とよばれる領域で鉄筋量の大小に影響を受けない。このような領域 I～V によって形成される降伏曲面とせん断耐力を図-2 に表示する。

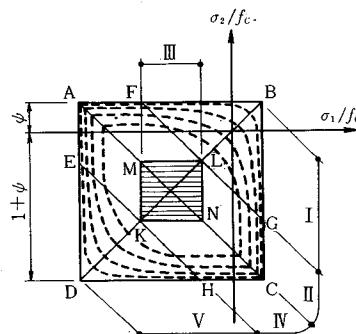
また、コンクリートの圧縮特性については、ひびわれの存在によりコンクリートが劣化し、標準供試体による圧縮強度 f_c を

$$f_c \rightarrow \nu f_c$$

のように減少させて用いることが多い。ここで、 ν はコンクリート圧縮強度の有効係数を示し、劣化の程度に応じて 0～1 の間の値をとる。コンクリートの圧縮破壊が先行する場合、有効係数 ν の評価がきわめて重要となり、多くの実験モデル^{8)～12)}が提案されている。

3. 各種算定手法との比較

既往の算定手法として、Collins による斜め圧縮場理論 (Diagonal Compression Field Theory)⁴⁾ および我が国におけるコンクリート製格納容器 (CCV) の設計基準⁵⁾を取り上げ、塑性理論から導かれた上記手法との照合・検討を行う。



(b) 等高線による表示

図-2 5つの領域に分類した降伏曲面とせん断耐力の表示

(1) 斜め圧縮場理論との比較

Collinsによれば斜め圧縮場理論において、鉄筋降伏による算定式とコンクリートの圧縮破壊先行時の算定式をそれぞれ次式のように与えている⁴⁾。

$$\tau = \sqrt{p_t f_{t_y} (p_t f_{t_y} + p_p f_{p_y} - \sigma_p)} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$\tau = \sqrt{f_{au} p_t f_t - (p_t f_t)^2} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

ここで、添字として、 t はスターラップ（横断方向筋）、 l は主鉄筋（軸方向筋）、 p はPC鋼材を意味する。一般に $p_t < p_l$ である。 f_{au} はコンクリート斜材（斜めひびわれに沿った方向）の圧縮強度を示し、標準供試体から得られる単軸強度 f_c と区別している。なお、他文献からの引用の際、その表記法はなるべく原典どおりとするが、統一的に比較するため、一部を本文の表示記号と符号（たとえば、引張軸力を正とする）に変更している。

斜め圧縮場理論はPC、RCはりの公称せん断応力（nominal stress）に対する評価式として定式化されたものである。このようなはり部材を対象とした算定式を本論で取り扱う平面部材に置き換えるため、式(9)、(10)における添字について横断方向 t を1、軸方向 l を2、プレストレス力を軸力と考え、本文のように f_c で正規化（無次元化）すると次式に書き換えられる。

$$\eta = \sqrt{\psi_1 (\psi_2 - \xi)} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

$$\eta = \sqrt{\psi'_1 (\nu^* - \psi'_1)}, (\psi'_1 \leq \psi_1) \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

上式では、コンクリートの最大斜め圧縮応力度 f_{au} に対して、有効係数を $\nu^* = f_{au}/f_c$ のように考えている。式(11)は領域Iを示す式(4)と、式(12)は領域IIを表わす式(5)に対応し、基本的に塑性理論と同じ表現となっていることがわかる。

しかし、次の3点において、当理論は塑性理論と異なっている。式(10)の鉄筋応力 f_t もしくは式(12)の ψ'_1 の鉄筋応力は必ずしも降伏応力度 f_y に達しない場合がある（そのため、 ψ'_1 のように表示し、 ψ_1 と区別してい

る）。たとえば、over-reinforcedの場合は終局時の鉄筋応力 f_t が $f_t < f_y$ （または鉄筋係数 ψ'_1 が $\psi'_1 < \psi_1$ ）となり塑性理論に比べてより実際に近い評価となる。一方、塑性理論においてはこのようなことは考慮できず、いかなる場合でも鉄筋応力を f_y もしくは鉄筋係数を $\psi = p f_y / f_c$ とする。

また、Collinsはコンクリートの最大斜め圧縮応力 f_{au} を最大せん断ひずみ γ_m の関数とし、次の実験式を提案している。

$$f_{au} = \frac{3.6}{1 + \frac{2 \gamma_m}{\epsilon_0}} f_c \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

ここで、コンクリートの有効係数を $\nu^* = f_{au}/f_c$ のように考えているので、これは、

$$\nu^* = \frac{3.6}{1 + \frac{2 \gamma_m}{\epsilon_0}} \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

のように表示することができる（ ϵ_0 は単軸圧縮強度試験における圧縮強度 f_c に対応するひずみを表わす）。 ν^* は最大値を1とするもので標準供試体によるコンクリートの圧縮強度 f_c に対する部材内斜材の圧縮強度 f_{au} の低減率を表わすものである。したがって、コンクリートの有効係数 ν に相当するものであるが、 ν^* は荷重状態と荷重レベルによって変化するもので、一定値を与えるこれまでの ν （たとえば、13）とは異なり、区別して表示した。

また、当理論は塑性理論の領域III（式(6)）に対応するものではなく、式(12)がこれを包含していると判断される。

(2) CCV設計基準案との比較

わが国ではコンクリート製格納容器の設計基準制定の際、円筒容器の水平加力およびねじり加力を中心とする

表-1 各種面内せん断耐力評価式の比較

破壊形式	条件	塑性理論	斜め圧縮場理論	CCV設計基準案
鉄筋降伏先行型	軸応力あり $p_1 = p_2$	領域I $\tau = \sqrt{p_1 \left(p_2 - \frac{\sigma_0}{f_y} \right)} \cdot f_y$	$\tau = \sqrt{p_1 \left(p_2 - \frac{\sigma_0}{f_y} \right)} \cdot f_y$ $(p_1 < p_2)$	$\tau = \left(p - \frac{\sigma_0}{f_y} \right) \cdot f_y = p^* f_y$
	軸応力なし $p_1 \neq p_2$	領域I $\tau = \sqrt{p_1 p_2 f_y}$		$\tau = \begin{cases} \frac{p_1 + p_2}{2} f_y \\ [p_1 f_y, p_2 f_y]_{min} \end{cases}$
コーン破壊型	せん断補強限界	領域II $\tau = \sqrt{p f_y (\nu f_c - p f_y)}$	$\tau = \sqrt{p_1 f_1 (f_{au} - p_1 f_t)}$ $(f_{au} = \nu^* f_c)$	$\tau = 5.25 \sqrt{f_c} = \frac{1}{2} \nu^{**} f_c$ $(\nu^{**} = 10.5 / \sqrt{f_c})$
	有効係数 ν の導入	領域III $\tau = \frac{1}{2} \nu f_c$		設計値 $\tau = 3.5 \sqrt{f_c}$

・X方向の鉄筋比を p_1 、Y方向の鉄筋比を p_2 とし、 $p_1 \neq p_2$ のときは、 $p_1 < p_2$ 、 $p_1 = p_2$ のときは p とする。

・軸応力（膜応力） σ_0 はY方向（ p_2 方向）のみ作用し（ただし、CCV基準案では両方向作用）引張を正とする。

・コンクリートの圧縮強度を f_c 、鉄筋の降伏強度 f_y とし、 f_t は f_y に達しない鉄筋応力度を示す。

実証実験が数多く精力的に行われた。この結果、1981年SMiRT-6（第6回原子炉構造工学国際会議）において“Drafted Japanese Design Criteria for Concrete Containment”としてわが国の設計基準案が発表されている⁵⁾。これによると、面内せん断力に対する耐力評価式は次の2式によって表現している。

$$\tau = p f_y - (\sigma_p - \sigma_0) = \left(p - \frac{\sigma_p - \sigma_0}{f_y} \right) f_y = p^* f_y \quad \dots \dots \dots (15)$$

$$\tau = 5.25 \sqrt{f_c} \quad \dots \dots \dots (16)$$

σ_p はプレストレスによる応力、 σ_0 は内圧による応力を示す。式(15)はいわゆる全補強式とよばれ、有効せん断鉄筋比 p^* を用いることにより、軸応力（または膜応力）が作用する場合にも適用される。

ここで、上式に無次元化を施すと、下式が得られる。

$$\eta = \psi - \xi \quad \dots \dots \dots (17)$$

ただし、

$$\xi = \frac{\sigma_p - \sigma_0}{f_c} \quad \dots \dots \dots (17')$$

$$\eta = \frac{1}{2} \nu^{**} \quad \dots \dots \dots (18)$$

ただし、

$$\nu^{**} = \frac{10.5}{\sqrt{f_c}} \quad \dots \dots \dots (18')$$

式(17)はもともとトラス理論から導かれたものであるが、塑性理論の式(4)において $\xi_1 = \xi_2$ とした場合に合致する。せん断補強限界については、最大耐力 $\tau = 5.25 \sqrt{f_c}$ が与えられているが、式(18')のように有効係数を定義するとこれは塑性理論の領域Ⅲにおける式(6)に有効係数を導入したものと形式上同一となる。

また、式(15)において2方向の鉄筋量が異なる場合は、通例、次式のいずれかが用いられている。

$$p f_y = (p_1 f_y + p_2 f_y) / 2 \quad \dots \dots \dots (19)$$

$$p f_y = [p_1 f_y, p_2 f_y]_{min} \quad \dots \dots \dots (20)$$

式(20)において $[A, B]_{min}$ は A と B のうち小さい方の値をとることを意味する。一方、塑性理論においては、純せん断の場合、

$$\tau = \sqrt{p_1 f_y \times p_2 f_y} = \sqrt{\psi_1 \psi_2} f_c \quad \dots \dots \dots (21)$$

のように表わすことができる（文献3）式(6)に示した）。すなわち、式(19)は相加平均、式(20)は最小値、式(21)は相乗平均を示している。

以上の検討をとりまとめ、これらを表-1に示した。

同表では、本文で提案する無次元表示は用いず、原論文で用いられている形式で示した。前述のごとく、2, 3

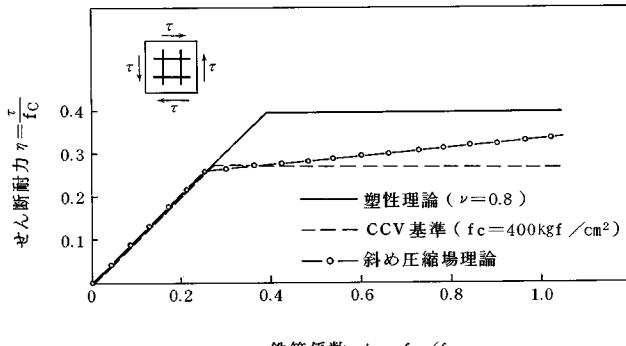


図-3 3手法による面内せん断耐力算定結果の比較（等方鉄筋
 $\psi_1 = \psi_2$ の場合）—純せん断状態における ψ ～ η 関係—

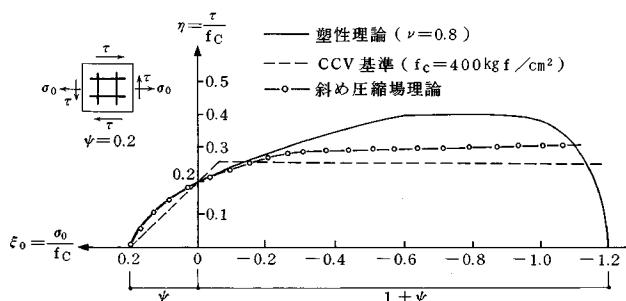


図-4 3手法による面内せん断耐力算定結果の比較（ $\psi = 0.2$ の場合）—1方向軸力+せん断力における ξ_0 ～ η 関係—

の点を除けばこれら3者は基本的に合致するところが多く興味深い結果である。

4. 数値計算による3手法の比較

次に、塑性理論を斜め圧縮場理論およびCCV基準案と数値比較し、これらを図-3、4に示した。図-3は、等方鉄筋 ($\psi_1 = \psi_2$) の場合について、純せん断状態における鉄筋係数 ψ とせん断耐力 η とを比較したものである。一方、図-4は、鉄筋係数を $\psi = 0.2$ と一定にし、このときの一方向軸力 ξ_0 とせん断耐力 η との比較を行ったものである。

両図から明らかなように、領域I（鉄筋降伏先行型）の場合3理論はほぼ合致するが、領域II、IIIのようなコンクリート圧壊を伴うような場合では差異が現われ、3理論が独自のパラメーターを包含している。また、図-4の場合、一方向軸力 ξ_0 の減少（すなわち圧縮力の増加）に従って、斜め圧縮場理論とCCV基準は漸増もしくは一定値となっているが、塑性理論の場合、単軸圧縮破壊を含むなど完全に閉合したものとなっているのが特徴である。通例、耐力評価の対象とする領域は、領域I～

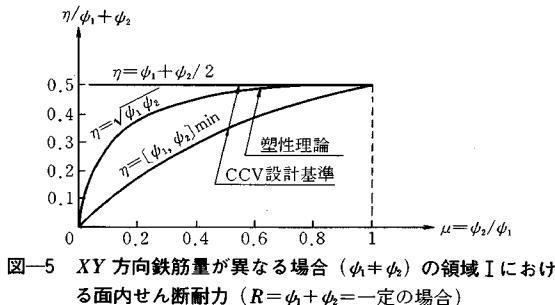


表-2 3手法による計算結果と実測結果¹⁴⁾との比較

No.	f_c	ψ	ξ_0	実験値		塑性理論						斜め圧縮理論			(d) CCV 設計基準案		
						(a) Nielsen			(b) 檜貝			(c) Collins					
				破壊モード	η_{exp}	領域	ν	η_{cal}	領域	ν	η_{cal}	破壊モード	ν^*	η_{cal}	破壊モード	ν^{**}	η_{cal}
0	229	0.200	0	R	0.176	I	0.688	0.200	I	0.661	0.200	R	0.428	0.200	R	0.694	0.200
1	208	0.220	0	R	0.225	I	0.698	0.220	I	0.693	0.220	R	0.443	0.220	R	0.728	0.220
2	213	0.372	0	C	0.291	III	0.696	0.348	III	0.685	0.343	C	0.512	0.256	C	0.719	0.359
3	250	0.442	0	C	0.251	III	0.677	0.339	III	0.632	0.316	C	0.562	0.281	C	0.664	0.332
4	181	0.253	-0.276	R'	0.285	II	0.711	0.340	II	0.743	0.352	C	0.551	0.265	R	0.780	0.253
5	199	0.398	-0.251	C	0.310	III	0.702	0.351	III	0.709	0.354	C	0.596	0.292	C	0.744	0.372
6	202	0.547	-0.248	C	0.358	III	0.701	0.350	III	0.704	0.352	C	0.662	0.327	C	0.738	0.369
7	220	0.208	-0.455	C	0.290	II	0.692	0.317	II	0.674	0.311	C	0.625	0.278	R	0.708	0.208
8	233	0.340	-0.429	C	0.296	II	0.686	0.343	III	0.655	0.328	C	0.658	0.308	R	0.688	0.340
9	215	0.514	-0.465	C	0.370	III	0.695	0.347	III	0.682	0.341	C	0.678	0.335	C	0.716	0.358
10	265	0.173	0.094	R	0.128	I	0.670	0.116	I	0.614	0.116				R	0.645	0.079
11	186	0.426	0.134	R'	0.304	III	0.709	0.354	I	0.733	0.353				R	0.770	0.292
12	183	0.604	0.137	C	0.321	III	0.710	0.355	III	0.739	0.370				C	0.776	0.388

・破壊モード、R: 2方向の鉄筋降伏先行、R': 1方向の鉄筋降伏先行、C: コンクリート圧壊先行型

・軸応力 $\xi_0 = \sigma_0/f_c$ は一方向のみに作用し、CCV 設計基準案の場合、式(20)の考え方を準用した。

IIIのみとするものに対して、塑性理論はすべての領域を網羅し、閉じた降伏曲面を形成する。

以上の両図はいずれも xy 方向の両鉄筋比が等しい場合の計算比較であるが、これらが異なる場合を無次元量によって比較すると図-5が得られる。同図は、両方向の鉄筋係数の和 $R = \psi_1 + \psi_2$ を一定としたときの両方向の鉄筋係数の比 $\mu = \psi_2/\psi_1$ とせん断力 η との関係を示したものである。

これによれば、塑性理論による式(21)は、CCV基準案における式(19)、(20)両式の中間に位置し、 $\mu = 1$ であれば3者に大きな差異はなく問題はないが、 xy 両方向の鉄筋係数が著しく異なる場合($\mu \neq 0$ 近傍)では、式(20)が安全側の値をとりすぎることがわかる。

5. 実測結果との比較

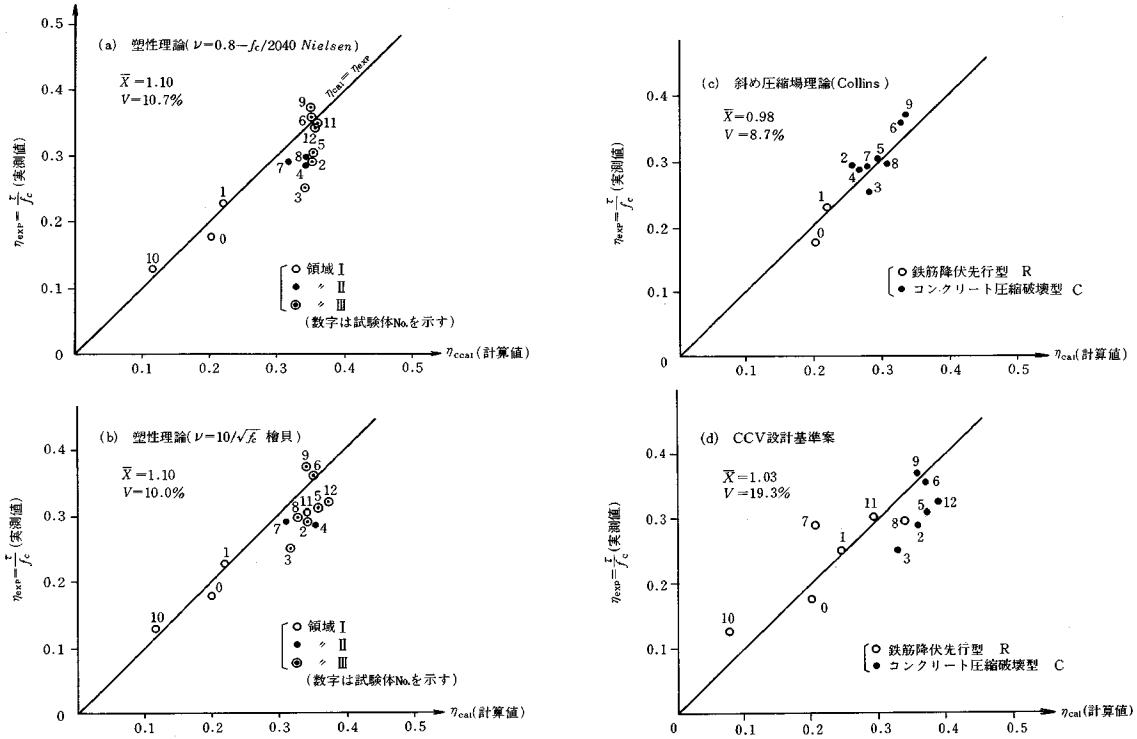
以上の考察をもとに、塑性理論、斜め圧縮場理論、CCV設計基準案の3手法を適用し、実験結果¹⁴⁾と比較することにより、その推定精度を考察する。なお、塑性理論を用いる際、有効係数 ν の設定が重要となるが、ここでは、Nielsen^{7,8)}および檜貝¹⁰⁾による次の実験式を用いる。

$$\text{Nielsen} \quad \nu = 0.8 - \frac{f_c}{200} \quad (f_c : \text{MPa})$$

$$= 0.8 - \frac{f_c}{2040} \quad (f_c : \text{kgt/cm}^2) \dots \dots \dots (22)$$

$$\text{檜貝} \quad \nu = 10 \sim 13 / \sqrt{f_c} \dots \dots \dots (23)$$

これらによる計算結果および実験結果との比較を表-2と図-6に示す。 η_{cal} は各手法による計算値、 η_{exp} は実験結果から得られた面内せん断耐力である。斜め圧縮

図-6 3手法による計算結果と実測結果¹⁴⁾との比較

場理論では本来軸力としてプレストレス（圧縮応力）を対象とするもので、引張軸力下で適用するには新たな仮定を必要とし、5. では圧縮軸力の場合のみとした。

また、図中の \bar{X} , V は、それぞれ計算値と実測値との比 η_{cal}/η_{exp} の平均値および変動係数を示す。

3 手法とも実測結果を概略満足し、実用的には十分な精度をもつといえる。塑性理論での領域Ⅰが、斜め圧縮場理論の鉄筋降伏先行型（R）の算定値と同一となっているが、これは表-1に示した両式が同等になっていることからも容易に説明される。

実験結果との対応では、斜め圧縮場理論がやや優れ、変動係数も小さくなっている。ただし、当理論では、荷重=0からの逐次変形解析を必要とし、その極値として最大耐力を得るものである。したがって、一義的かつ陽に与えられる塑性理論、CCV 設計基準案とは区別されるべき手法であり、計算容量も大となる（本例では、パーソナル・コンピューターを使用した）。

塑性理論の場合、領域Ⅱ, Ⅲにおいて計算値 η_{cal} は実測値を過大評価していることを示し、有効係数の実験式として用いた、Nielsen⁸⁾, 檜貝¹⁰⁾の両式とも大きな違いはなかった。崩壊時のせん断挙動が鉄筋の配筋法、ひびわれ状況、正負荷重のサイクル数に影響されるとすれば、このような複雑な状況を有効係数 ν の大小のみで判定するにはやや無理があると思われる。

CCV 設計基準案は、変動係数が $V=19.3\%$ と 3 手法の中では最も大きなばらつきを呈している。その理由として、鉄筋降伏先行型（R）では、xy 両方向の有効鉄筋係数に差異がある場合、その取扱い方（式(19), (20)）に理論的根拠が希薄であること、コンクリート圧縮破壊型（C）では式（16）が実測結果を過大評価している点などが指摘される。

6. まとめ

以上までの考察に基づき、本研究を次のように要約する。

(1) 本研究は、Nielsen らによる塑性理論を用いた面内せん断耐力の評価手法を取り上げ、関連する評価式として、はり部材に開発された斜め圧縮場理論を面内せん断力に拡張した場合、およびわが国での CCV 設計基準案と比較検討したものである。これらは基本的に合致する点が多く、その共通点・相違点を考察することは、面内せん断の耐荷機構解明への重要な手がかりになるとを考えられる。

(2) 塑性理論は、領域Ⅰ（鉄筋降伏先行型）において、これら両理論とは基本的に合致するが、軸方向力の取扱いや縦横鉄筋量が異なる場合など若干相違する。

領域Ⅱ, Ⅲのようにコンクリート圧壊が先行する場合、これら 3 理論は特に違いがみられ、包含するパラメー

ターも異なったものとなっている。また、数値計算による定量的比較においても同様のことがいえる。

(3) 斜め圧縮場理論は、塑性理論に比べてより実際に近い状態を仮定しているため実測値との対応が良好であるが、引張軸応力に適用するにはさらに検討を要する。当理論は、変形解析を実行する必要があり、一義的に算定される塑性理論やCCV設計基準案よりも多くの計算労力が課せられる。

CCV設計基準案による面内せん断力の補強限界式 $\tau = 5.25 \sqrt{f_c}$ は、塑性理論の領域Ⅲと形式上合致するので、有効係数の与え方が異なっているといえる。

(4) 塑性理論を基本とし、コンクリートの有効係数を Nielsen の方法（式（22））と檜貝の方法（式（23））を用いたものに加えて、斜め圧縮場理論および CCV 設計基準案を適用し、実験結果との照合を行った。その結果、3 手法とも実測結果を概略満足し、実用的にはほぼ十分な精度を有するものであるが、CCV 設計基準案による計算結果が最もばらついていた。

塑性理論では、コンクリートの圧縮破壊が先行する領域で計算値の方が過大となることがわかった。これは塑性理論そのものの良否より、コンクリート有効係数の与え方に依存するものと考えるべきである。

記 号

本文で用いた主要記号を次のようにまとめる。各項のみで使われる記号については逐次記した。

添字 1, 2 : X 軸方向, Y 軸方向を示す

p_1, p_2 : 鉄筋比

σ_1, σ_2 : 平板に作用する軸応力

τ : 平板に作用するせん断応力

ψ : 鉄筋係数 $\psi = p f_y / f_c$

ξ : 軸応力に関する無次元量 $\xi = \sigma / f_c$

η : せん断耐力に関する無次元量 $\eta = \tau / f_c$

f_c : コンクリートの圧縮強度（標準供試体による）

ε_0 : f_c に対応するコンクリートのひずみ

f_y : 鉄筋の降伏強度

μ : 両方向鉄筋量（鉄筋係数）の比

$\mu = \psi_2 / \psi_1 = p_2 / p_1$

σ_0 : 一方向のみ作用するときの軸応力

ν : コンクリート圧縮強度に関する有効係数

f_{du} : 斜め圧縮場理論におけるコンクリート斜材の圧縮強度

η_{cal} : 計算結果による η

η_{exp} : 実験結果による η

参 考 文 献

- 吉川弘道・梅原秀哲・田辺忠顯：RC 平板の面内せん断強度諸理論の統一的評価ならびにそれに基づく新強度式の提案、第 2 回 RC 構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム、日本コンクリート工学協会、pp. 69~78, 1983. 10.
- Yoshikawa, H., Umemura, H. and Tanabe, T. : A Semi-analytical Method to Predict the Ultimate Strength of Reinforced Concrete Members Subjected to In-plane Stresses, Transactions of the 8th International Conference on SMiRT 7, H 4/9, pp. 179~186, Aug., 1985.
- 吉川弘道・田辺忠顯：塑性理論による鉄筋コンクリート部材の面内せん断耐力評価、土木学会論文集、第 402 号／V-10, pp. 115~124, 1989. 2.
- Collins, M.P. : Towards a Rational Theory for RC Members in Shear, ASCE, ST 4, Vol. 104, pp. 649~666, April 1978.
- Ohsaki, Y., Ibe, Y. and Aoyagi, Y. : Drafted Japanese Design Criteria for Concrete Containment, International Conference of SMiRT-6, J 1/2, 1981.
- Chen, W.F. and Drucker, D.C. : Bearing Capacity of Concrete Blocks or Rock, ASCE, EM 4, Vol. 95, pp. 955~978, Aug. 1969.
- Nielsen, M.P. : ON the Strength of Reinforced Concrete Discs, Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series No. 70, Copenhagen, p. 261, 1971.
- Nielsen, M.P. : Limit Analysis and Concrete Plasticity, Prentice-Hall Series in Civil Engineering Mechanics, p. 420, 1984.
- Vecchio, F. and Collins, M.P. : The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses, University of Toronto, Department of Civil Engineering, No. 82-03, p. 332, March, 1982.
- 檜貝 勇：鉄筋コンクリートはりのせん断破壊における塑性理論の検討、第 36 回土木学会年次講演会、V-150, pp. 298~299, 1984. 10.
- 宮原長久・川上泰司・前川宏一：ひびわれを含む鉄筋コンクリート板要素の一軸応力における非線形挙動、土木学会論文集、第 378 号／V-6, pp. 249~258, 1987. 2.
- 吉川弘道・仲地唯治：ひびわれを有するコンクリートの構成則と FEM 解析、日本建築学会大会学術講演会梗概集、構造（II），pp. 53~54, 1985. 10.
- Braestrup, M.W., Nielsen, M.P. and Bach, F. : Plastic Analysis of Shear in Concrete, Hauptvortrage, T 3-T 14, 1978.
- Kawamata, S., Iida, T. and Yoshikawa, H. et al. : Behavior of Orthogonally Reinforced Concrete Walls Subjected to In-plane Shear Force, Transactions of the 7th International Conference on SMiRT, J 5/3, pp. 253~260, Aug. 1983.

(1989.1.9・受付)

3次元熱流体解析プログラム

STREAM

特徴

- 定常・非定常問題の取扱いが可能
- 化学反応を伴う流れ
- 三角柱要素、三角柱+三角柱要素のメッシュ機能
- パーティクルの取扱いが可能
- ユーザー組込み関数機能
- 層流・乱流の取扱いが可能
- 物性データの温度依存が可能
- 固体と流体の温度連成が可能

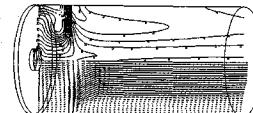
販売条件

価格 500万円 (バージョン1)
700万円 (バージョン2)

納入品 STREAMソースプログラム一式
STREAM使用説明書

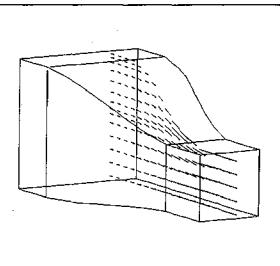
化学反応を伴う流れ解析

(濃度)



縮流ダクト内の流れ解析

三角柱要素、三角柱+三角柱要素使用



両ソフトのお問合せは

開発・販売元 **CRADLE** 株式会社 ソフトウェア クレイドル 営業部
東京 03(440)8577(代) 大阪 06(300)5641(代)

一般座標系熱流体解析プログラム

SCRYU

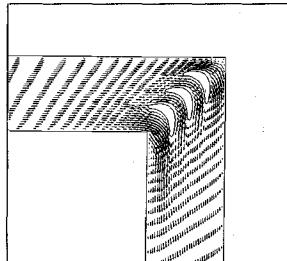
特徴

- 一般座標(BFC)系を採用
- 1次精度と3次精度(2種類)の風上差分
- 層流・乱流の取扱いが可能
- 熱流体の取扱いが可能
- 定常・非定常問題の取扱いが可能
- 簡易プリ・ポスト保有
- Atracと接続すれば3次元カラー・グラフィック処理が可能
流速ベクトル図 温度コンター図
圧力コンター図

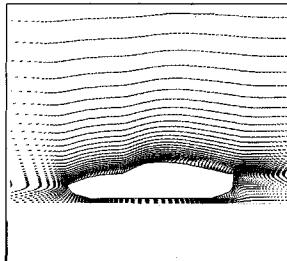
販売条件

価格 900万円**納入品** SCRKYUソースプログラム一式
SCRKYU使用説明書

フィンまわりの流れ解析



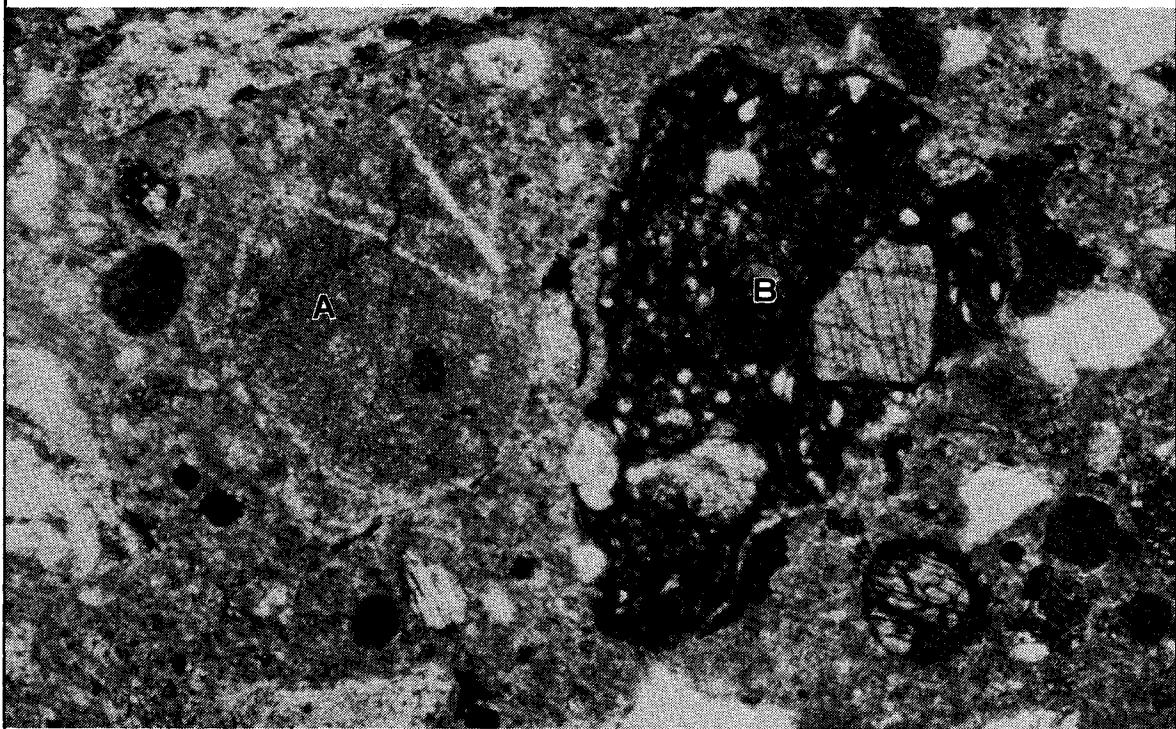
車体まわりの流れ解析



**技術者
募集中!**

- 給与当社規定により優遇
- 完全週休2日制

コンクリートの耐久性診断に



反応性岩石を含むコンクリート薄片の偏光顕微鏡写真

(A : 潜晶質石英を含む堆積岩・B : ガラス質安山岩) 東京大学生産技術研究所 小林研究室 ご提供

だれにでもプレパラートが作れます

骨材観察用薄片試料作製機

プレパラップ MG-300

用途

- 反応性岩石・鉱物の判定
- マイクロクラックの観察
- コンクリート組織の変化の観察
- 中性化の判定
- セメントの水和物組織の観察

「鉱物プレパラートの
作り方」小冊子、
無料進呈いたします。

(開放実験室)… ● 東京本社 ● 名古屋分室 ☎052-251-8771・西村科学機器内 ● 京都分室 ☎075-451-3975・京都試験機内

コンクリート・岩石等研究用試料作製機メーカー

株式会社 **マルト**®

本社 〒113 東京都文京区湯島1-1-10

☎東京(03)251-0727(代表)FAX: 東京(03)251-2478

福岡連絡事務所

〒815 福岡市南区大橋1-21-5 岩田ビル TEL 092-512-2755

動的連成応答解析ソフト



サブストラクチャー法による動的連成応答解析プログラム

DYSAS

Version 3.0

地盤—基礎—構造物系の耐震解析に最適//

適用分野

- 吊り橋、斜張橋等の長大橋梁
- 高炉、原子炉、煙突等の産業施設
- 高層ビル等の建築物
- 地中タンク、地中埋設構造物等*

適応機種

- IBM 303X、308X、43XX
- FACOM Mシリーズ
- HITAC Mシリーズ

* Version 3.0による機能追加

機能

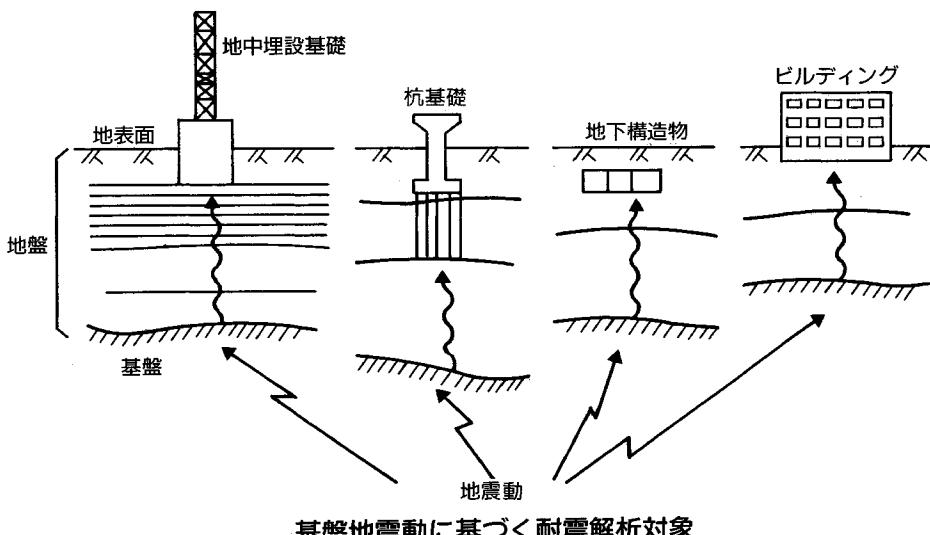
- 平面歪モデルによる面内、面外振動解析
- 軸対称及び3次元モデル*による下部構造系と、3次元モデルによる上部構造物の連成振動解析
- 剛基盤および半無限基盤
- 粘性境界、伝達境界
- 四辺形要素、梁要素、ベルヌーイ・オイラー梁要素、シェル要素*、3次元立体要素*

地震波入力

- 基盤面上の一様入力：面内、面外
- 実体波(斜め入射可)：P波、S V波、S H波
- 表面波：レーリー波、ラブ波
- 点加振*（下部構造のみ）

解析手法

- 動的サブストラクチャー法：インピーダンス法、部分モード法
- 一体解析法
- 応答計算法：周波数応答法



圧密解析ソフトパッケージに上陸!!

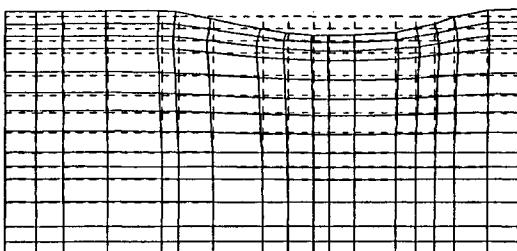
地盤の非定常圧密解析プログラム



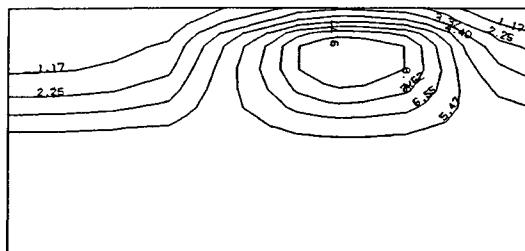
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケーリングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化処理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧センター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

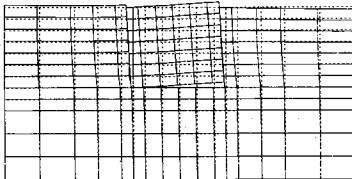
CRC センチュリリサーチセンター 株式会社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06-241-4121)営業担当：遠藤・岩崎

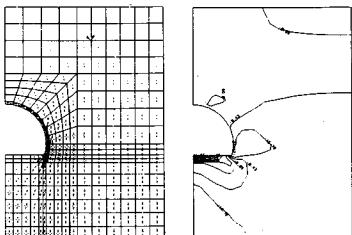
Mr. SOIL Version-2.0

<機能>

- ・弾性及び弾塑性解析が可能
- ・掘削機能、盛土機能がある。
- ・地盤の不連続性や、構造物との相互作用が扱える。
- ・三角形要素、四角形要素、梁・棒要素、joint要素の準備。
- ・大型モデルは、CRCネットワークでメインフレーム処理が可能。



不連続性を考慮した地盤と構造物の解析



トンネル掘削による応力ベクトル/センター図

- ・地震荷重、分布荷重が扱える
- ・荷重の段階的載荷が可能。
- ・弾性解での安全率（モール・クーロン基準）評価。
- ・充実したグラフィック機能（変形図、応力ベクトル図、応力センター図、拡大機能）

販売価格:64万円 機種:NEC PC-9801シリーズ, IBM5550
150万円 機種:SONY NEWS, DEC VAX,他

MR. SOIL 納入実績表 127社 (平成元年2月1日現在)

(株)アースコンサルタント (株)葵エンジニアリング (株)荒谷建設コンサルタント 上山試錐工業(株) (株)エイトコンサルタント (株)応用地学研究所 大阪大学 大阪市立工業研究所 (財)大阪土質試験所 大阪府立工業高等専門学校 岡山大学 (株)奥村組・技術研究所 奥村組土木興業(株) 小野田ケミコ(株) 小野田ケミコ(株) 鹿児島大学 梶谷エンジニア(株) 鹿島建設(株)技術研究所 金沢大学 川崎地質(株) 関西電力(株)建設部 土木課 岩水開発(株) 関西航測(株) 九州産業大学 九州産業大学 九州大学 工学部 九州大学 九州電技開発(株) 京都市立伏見工業高等学校 京都大学 京都大学 京都大学	協和電設(株) 近畿実測(株) 近畿大学 近畿大学 (株)熊谷組 (株)熊谷組 技術研究所 (株)建設企画コンサルタント (株)建設工学研究所 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 佐賀大学 佐伯建設工業(株) サンヨーコンサルタント(株) (株)CIT構造技術研究所 島根大学 昭和地質情報リサーチ(株) (株)新日本技術コンサルタント 新日鉄(株) 新技术計画(株)技術設計部 (株)住化土建設計 住友建設(株) 技術研究所 住友建設(株) (株)西播設計 促進工事(株) (株)第一コンサルタンツ 大成基礎設計(株) 大豊建設(株) (株)ダイヤコンサルタント (株)高千穂設計コンサルタント	(株)タカラエンジニアリング (株)竹中工務店 技術研究所 玉野総合コンサルタント(株) (株)崎工業 技術研究室 (株)地盤調査事務所 (株)中央設計技術研究所 中央復建コンサルタント(株) 通信土木コンサルタント(株) (株)テノックス 東建地質調査(株) 東電設計(株) 東電設計(株) 東京地下工事(株) 東海大学 戸田建設(株) 土木工事技術室 西日本建設コンサルタント(株) (株)中堀スイルコーナー ¹ 西松建設(株) 技術研究部 (株)日本基礎コンサルタント 日本大学 日本大学 日本钢管(株) 中央研究所 日本钢管(株) 日本シールドエンジニアリング(株) 日本工営(株) 日本工営(株) 日本通信建設(株) 日鉄鉄鋼コンサルタント(株) 日本水工設計(株) 日本道路公団 試験所 (株)日本パブリックエンジニアリング (株)日建技術コンサルタント	八戸工業大学 土木工学科 (株)阪神コンサルタント 東日本旅客鉄道(株) ヒメノコンサルタント(株) 広瀬鋼材産業(株) 福井大学 (株)藤井基礎設計事務所 フジタ工業(株) フジタ工業(株) 藤原技術士事務所 不動建設(株) 不動建設(株) 北光ジョリサーチ(株) 前田設計(株) 三井建設(株) 建築技術部 明治コンサルタント(株) メトロ設計(株) 山口大学 工学部 山口大学 工学部 山口大学 工学部 (株)四電技術コンサルタント りんかい建設(株) 和歌山工業高等専門学校	韓国 大林産業 韓国 三星建設 韓国 現代エンジニアリング 韓国 大韓コンサルタント 韓国 ソウル国立大学 オランダ デルフト大学
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

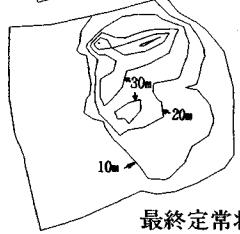
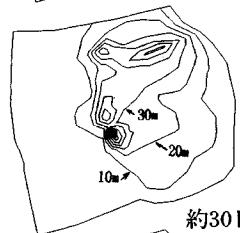
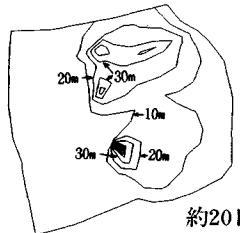
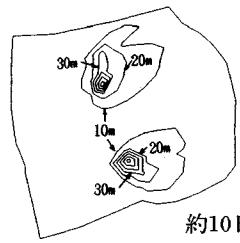
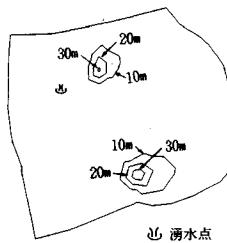
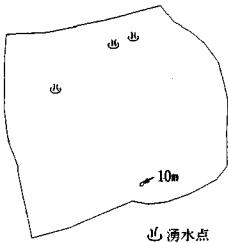
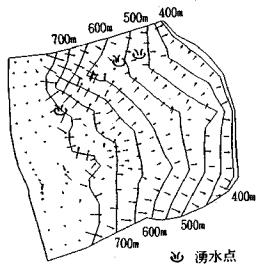
(あいうえお順 敬称略)

地下水解析のことなら **CRC**

日本初!!逆解析手法による
地下水変動解析プログラム

UNISSF

スピーディな同定・安価な解析



特長

- 有限要素法による準3次元解析を中心とした
地下水の流れのトータルシステムです。

- 観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて
帶水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)

- 建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の
解析に対応する多くの機能を備えています。

- メッシュ・ジュネレータにより、
モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。

- 図化処理プログラムにより、
結果の確認が容易に行えます。

機種: FACOM-Mシリーズ, HITAC-Mシリーズ
IBM303X, 308X, 43XX, CRAY
NEC ACOSシリーズ, DEC VAX11 他

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

IPA 情報処理振興事業協会

CRC センチュリリサーチセンタ株式会社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06-241-4121) 営業担当: 遠藤・岩崎

STACC

(Shield Tunnel Analysis Program
by Characteristic Curve)

概要

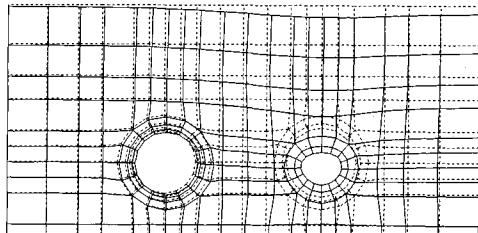
- 二次元有限要素法解析と地表面沈下特性曲線を融合し、三次元的効果を考慮すると共に、各種施工条件をも考慮した地表面沈下量解析プログラム。

特長

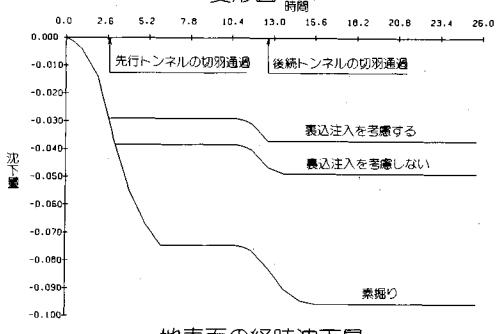
- 三次元的効果を、効率良く解析できる。
- 粘弾性的な時間依存性地山が解析可能。
- 施工による経時的な沈下量が解析可能。
- 現場での施工条件が考慮できる。
 - ・シールド掘進速度
 - ・テールクリアランス
 - ・圧気圧
 - ・セグメントの構築
 - ・双設トンネルの施工手順
 - ・メッシュユジエネレータ内蔵。

対応機種

- 各種汎用機
- 各種EWS



変形図 時間



地表面の経時沈下量

アイサワ工業(株)	新技術計画(株)	西日本旅客鉄道会社(JR西日本)
(株)青木建設	(株)新日本技術コンサルタント	西松建設(株)
(株)浅沼組	(株)錢高組	日本鋼管(株)
(株)応用地質研究所	大成基礎設計(株)	日本交通技術(株)
大阪市交通局	(株)竹中土木	日本シールドエンジニアリング(株)
大阪ガス(株)	(株)地崎工業	日本スピードショア(株)
(株)大林組	中央復建コンサルタント(株)	日本鉄道建設公団
(株)大本組	中電技術コンサルタント(株)	日本電信電話(株)(NTT)
(株)奥村組	通信土木コンサルタント(株)	(株)簡組
北居設計(株)	鉄建建設(株)	阪神高速道路公団
(株)熊谷組	(財)鉄道総合技術研究所 (JR総研)	パシフィックコンサルタント(株)
久保田建設(株)	東急建設(株)	東日本旅客鉄道会社(JR東日本)
(株)鴻池組	東京ガス(株)	フジタ工業(株)
国際航業(株)	東建地質調査(株)	不動建設(株)
五洋建設(株)	東電設計(株)	三井建設(株)
佐藤工業(株)	戸田建設(株)	村本建設(株)
四国電力(株)	飛島建設(株)	(株)森組
清水建設(株)		

シールドトンネル研究会参加メンバー

CRC センチュリリサーチセンター 株式会社

IPA 情報処理振興事業協会

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

問合せ先

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3

(06-241-4121)営業担当:遠藤・岩崎

土平平成
木学成
元年
会文集
八八年
月月
二十
十五
日
発行
(毎月
二十
日
發行)

土と水の連成逆解析プログラム



UNICOUPL

応力解析と浸透解析がドッキングした!



出力項目

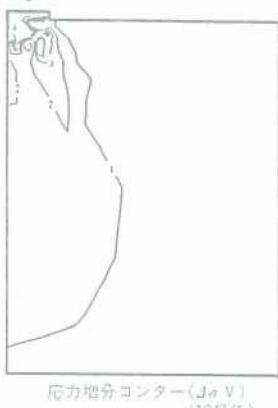
- 各節点での変位、各要素での応力
- 各節点での全水頭・圧力水頭他
- 豊富な図化処理
 - 変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力センター図、安全率センター図、水頭センター図、圧力水頭センター図

プログラムの特長

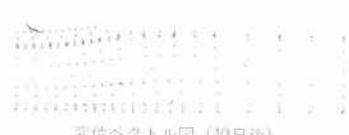
- 応力と地下水の流れをカップルさせた問題が解析可能です(圧密含む)
- 地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています
- 多段掘削・盛土や降雨等が扱えます
- 梁や連結要素も扱え実用的です
- 経時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水係数が逆解析できます(順解析、逆解析がスイッチにて選択可能です)

- 弾性・非線形弾性・塑性・弾粘塑性を示す地盤が扱えます
 - 非線形弾性(電中研式、ダンカン・チャンの双曲線モデル)
 - 塑性性(トラッカ・フラガー、モール・クーロン、カムクレイモデル、ハートニング、ソフトニング)
 - 弾粘塑性(間口・太田モデル)

↓ (荷重)



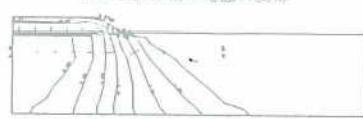
応力増分コンター($\Delta\sigma V$)
(10日後)



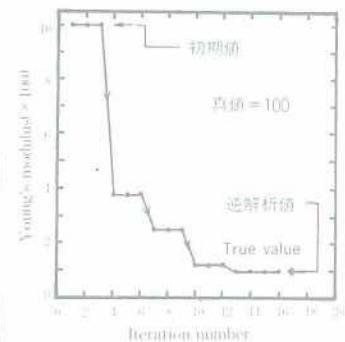
変位ベクトル図(40日後)



盛土(40日)後の地盤の変形



盛土(40日)後の地下水の流れと水頭
センターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数の関係

逆解析によるハラメータの推定

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したもので

IPA 情報処理振興事業協会
CRC センチュリリサーチセンター 株式会社

問合せ先

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06-241-4121) 営業担当: 遠藤・岩崎

定価
一五〇〇円(本体価格一四五六円)