

投稿論文(和文ノート)
TECHNICAL
NOTE

鋼ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案

野上邦栄*

終局限界状態のうち座屈設計が問題となるような鋼ラーメン構造物を対象にした実務レベルの新しい設計法を提案している。従来の設計法における有効座屈長を用いた耐荷力評価法に疑問の余地があることから、ここでは、有効座屈長の概念にとらわれないで安全性検査を容易にできるように、 ζ 関数を導入するなどの工夫をしている。具体的に、実橋レベルの多層ラーメン構造物に適用して、その有効性を明らかにした。

Keywords: codes, stability design, ultimate strength, frames, beam-column

1. まえがき

現行の鋼構造物の設計法¹⁾は、周知のように許容応力度設計法であり、柱の耐荷力を有効座屈長の関数として与えられる素材の許容応力度の形に変形して設計に用いるため、この考え方を多層ラーメンの柱の設計に用いるためには、個々の柱の有効座屈長を知らなければならない。しかし、もしラーメン全体を対象とする理論的な座屈解析をしてみれば判るように、構造系全体に対して座屈耐荷力は一般にただ一つだけ定まり、個々の柱要素の有効座屈長が得られる訳ではない。そのため、多少理論的な厳密さには欠けるが、新たな仮定を持ちこむことによって個々の柱材の有効座屈長を求める設計法が実用されている。

その方法は、確実に安全側の結果を与えていていることが試算によって確かめられているから、その方法が悪いと言う訳ではない²⁾。しかし、ラーメン構造物の耐荷力に対する安全性はラーメン構造全体の形状、剛性分布の他荷重状態にも依存することを考慮する時、本質的には構造全体として評価されるべきであり、その意味で現行設計法が構造物の持つ真の耐荷力を評価しているかどうか、さらには、許容応力度設計法にこだわらない立場に立つ場合にも同じ方法を用いることが果たして合理的と言えるかどうか、多少疑問の余地がある。さらに、設計技術者から軸力が小さい部材ではきわめて長い有効座屈長になり、許容応力度がかなり低下するなど有効座屈長の算出法の不合理性が指摘されている^{3),4)}。

これに対して、最近欧州を中心としてラーメン構造の設計は、従来の許容応力度設計法における有効座屈長を用いずに変形の影響を考慮した解析法を用いた設計法へと移行しつつある。現在この種の解決としては、初期不

整および $P-\Delta$ 効果を考慮した弹性 2 次解析が推奨されている。わが国でも、設計上の観点から従来の有効座屈長を用いた耐荷力評価法に関する見直しが理論的および数値解析的に行われており^{3), 5), 6), 7)}、有効座屈長の概念にとらわれない新しい設計体系（非線形解析による設計法）の確立を考える時期に来ていると言える。もちろん、その場合でも高度な理論による複雑な計算仮定を基礎にすることは適当ではなく、実務レベルに沿った設計法を考えるべきである。

このような状況を踏まえて、ここでは、座屈設計が問題となるようなラーメン構造物を対象にして、有効座屈長を用いないで終局強度設計を可能する新しい設計法^{2), 8), 9)}を提案する。

2. ご関数の設定

柱の座屈耐荷力を支配する要因として、現在のように初期たわみと残留応力の影響が強調されるようになる以前に、Engesserにより柱の耐荷力推定法として接線係數理論が提案された。

この方法は、接線弾性係数 E_t の値が素材に固有のものであると仮定した点に最大の欠点があり、現在の研究成果のもとではそのまま認めることが出来ない。しかし、 E_t は素材に固有なものではなく、部材断面を包括的に見たパラメータであって初期たわみや残留応力にも依存するものであると考え直すだけで、現在でも利用可能な概念である。

接線弾性係数とヤング率 E の比を

と置くならば、細長比 l/r の柱の非弾性座屈荷重は

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E \zeta}{(Vr)^2} \dots \dots \dots \quad (2)$$

のように応力表示することができる。

*工博 東京都立大学助手 工学部土木工学科
(〒192-03 八千子市南大沢1-1)

いま、軸圧縮応力状態 σ において、 ζ が降伏応力度 σ_y に対する応力比 $\bar{\sigma} (= \sigma/\sigma_y)$ のみの関数であると仮定する時、その応力度における ζ を用いて限界応力度 σ_{cr} を推定することができる。その結果を σ_{es} とする時、この推定応力度が $\sigma_{es} = \sigma$ になった時、当然それは求めようとする限界応力度 σ_{cr} とも一致するはずである。

ここで、推定応力度とオイラー応力度の比 σ_{es}/σ_e について考えると、

$$\frac{\sigma_{es}}{\sigma_e} = \frac{(\sigma \text{における } \zeta)}{(\text{弾性状態の } \zeta=1)} = \zeta (\sigma \text{における値}) \dots \dots \dots (3)$$

であるから、これは上記の仮定によって $\bar{\sigma}$ の関数でなければならない。

他方、最近の耐荷力解析の整理方法として、換算細長比のパラメータに

$$\lambda^2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} = \frac{1}{\pi^2} \frac{\sigma_y}{E} \left(\frac{l_e}{r} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

を用いることが多い。この時、任意の応力度とオイラー応力度との比 (σ/σ_e) は

$$\frac{\sigma}{\sigma_e} = \lambda^2 \bar{\sigma} \dots \dots \dots (5)$$

と $\bar{\sigma}$ と λ をパラメータとして線形関係を持つ。このパラメータ λ は、構造系の非弾性領域の発生のため、 ζ 関数と同様に応力比 $\bar{\sigma}$ の関数として変化する。したがって、図-1 のようにもし横軸に ζ を取り、縦軸に同じスケールで σ/σ_e と $\sigma_{es}/\sigma_e (= \zeta)$ を採って同じ図上に式(3)と式(5)の関数を表す曲線を描くものとすると、現実の限界応力度 σ_{cr} は 2 曲線の交点として得られるはずである。

このことから、もし ζ - $\bar{\sigma}$ 関係を予め適当に設定しておくことができれば、上記の関係を利用してラーメン全体系の耐荷力を比較的簡略な方法で近似的に求めることができる⁹⁾。

本来、対象とする構造物に見合う厳密な ζ - $\bar{\sigma}$ 関係が見出せば良いのであるが、現状ではその設定は極めて困難である。ここでは、部材の初期たわみ、および残留応力などの影響が考慮されている柱の基準耐荷力曲線を準用して設定することを考える。

一般に、この種の耐荷力曲線は式(4)の換算細長比 λ の関数として

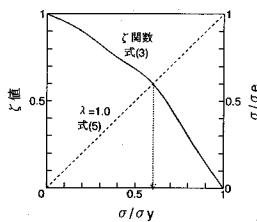
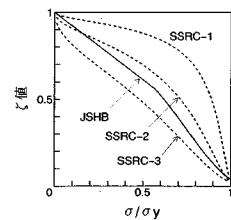
$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = f(\lambda) \dots \dots \dots (6)$$

のように与えられる。上式を λ に関して逆変換を行うと、

$$\lambda = g(\sigma_{cr}/\sigma_y) \dots \dots \dots (7)$$

を得る。式(5)の応力度 σ は、 σ_{cr} としても一般性を失わないのであるから、上式を用いて λ を消去すると

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_e} = g^2(\sigma_{cr}/\sigma_y) \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} \dots \dots \dots (8)$$

図-1 ζ 関数と限界応力度図-2 ζ 関数の例

になる。この式は、限界時の応力度 σ における式(3)を表すことになり、 ζ 関数は、

$$\zeta = g^2(\bar{\sigma}) \bar{\sigma} \dots \dots \dots (9)$$

と応力度の関数で与えることができる。

いま、道路橋示方書¹⁾(以後、道示と呼ぶ)とSSRC¹⁰⁾における柱の基準耐荷力曲線を用いて求めた ζ - $\bar{\sigma}$ 曲線を描いたのが図-2である。なお、道示の ζ 関数は、

$$\zeta = \begin{cases} 1 - 0.773\bar{\sigma}; & \bar{\sigma} \leq 0.564 \\ 3.367(1.109 - \bar{\sigma})^2 \bar{\sigma}; & 0.564 < \bar{\sigma} \leq 1.0 \\ 0.04; & 1.0 < \bar{\sigma} \end{cases} \dots \dots \dots (10)$$

と与えられる。

3. ζ 法に基づく設計

ラーメン構造物を構成する部材の非弾性特性や初期たわみの影響は、上述のように ζ 関数を決める段階すでに取り込まれることになるため、構造系に改めて初期不整の影響を考慮する必要はなく、ラーメン構造全体系の耐荷力問題は固有値問題の形に置き換えて簡単に評価できることになる⁹⁾。しかし、実際の設計では、厳密に耐荷力を求めることが絶対的な必要条件ではない。要は仮定した構造が照査用の荷重に対して安全であるか否かを判断できれば良い。このような設計思想の基、ここでは ζ 関数に基づいた新しい座屈設計法(以後 ζ 法と呼ぶ)を提案する。

この設計法における構造形態と各部材断面を仮定して決定された設計荷重による構造解析には、弾性有限変位解析を用いることを前提とする。これは、付加曲げなどの2次効果を考慮した設計断面力を求めるためであり、従来の重ね合わせの原理による影響線載荷は適用できない。

一方、構造物の耐荷力への初期不整、および荷重の偏心などの影響を考慮するため、設計荷重の荷重係数倍した荷重に対して計算した応力度に対応する ζ 関数を各断面に導入し、この ζ を考慮した固有値計算により求めた設計断面耐力と設計断面力との比較によって部材断面、さらには構造物の安全性を確保するのである。

具体的には、次のような設計手順に従えば良い。

- 1) 各部材断面を仮定する。
- 2) 仮定断面に対する設計荷重 F に荷重係数 γ_f を乗

することにより照査荷重を求める。

3) 照査荷重に対して構造全体系の弾性有限変位解析を実行し、各断面の設計断面力を求める。

4) 各断面の軸圧縮力 N_i と断面積 A_i から、軸応力度 σ_i を求める。

5) 各断面の軸応力度を用いて式(9)により ζ_i を求める。そして、曲げ剛性 $E_i I_i$ に ζ_i を掛けることによって、各断面の見掛けの曲げ剛性を決める。

6) 見掛けの曲げ剛性を持つ構造物全体系の固有値解析

$$|K_E(\zeta_i) + \kappa K_G(N_i)| = 0 \quad (11)$$

を行い、限界圧縮耐力 N_{cri}

$$N_{cri} = \kappa N_i \quad (12)$$

を求める。ここに、 K_E は微小変位理論における剛性行列、 K_G は幾何剛性行列、 κ は固有値を意味する。

7) 終局限界状態の断面照査は 2) の照査荷重に対して次式により行う。

軸圧縮力が支配する場合：

$$\gamma \left(\frac{N_i}{N_{cri}} \right) \leq 1 \quad (13)$$

軸圧縮力と曲げを受ける場合：

$$\gamma \left(\frac{N_i}{N_{cri}} + \frac{M_i}{M_{cri}} \right) \leq 1 \quad (14)$$

ここに、 γ は構造物係数、 M_{cri} は限界曲げモーメント、 N_{cri} は限界圧縮耐力、ただし、 $N_{cri} > N_y$ の場合 $N_{cri} = N_y$ とする。 N_y は降伏軸力である。

この条件を満足しない場合、断面を適宜変更して 1) に戻り再計算をしなければならない。

この設計法において、構造の横変位に対する軸圧縮力による付加曲げの影響 ($P-\Delta$ 効果) は、構造解析を弾性有限変位解析で行うことにより考慮できるため、降伏強度に対する断面照査には上記線形式を用いることができる。なお、ラーメン柱の剛性低下による付加曲げの影響 ($P-\delta$ 効果) は ζ 関数に考慮される。また、荷重係数倍した照査荷重に対して構造解析を行うことにより、作用応力度と設計荷重との非線形性が配慮されるため、構造の耐荷力に対して所定の安全率を保持することができるようになる。

4. 数値計算例

提案した ζ 法の有効性を明らかにするため、変断面部材から構成された実橋モデルとして、図-3、図-4 のような断面諸元および荷重条件を有する 3 層、および 4 層ラーメン構造を探り上げて、 ζ 法と現行設計法による安全性の照査比較を行った。なお、数値計算における荷重係数は $\gamma_f = 1.71$ を、また構造物係数は $\gamma = 1.0$ を採用した。また、解析に用いた分割要素数は、3 層ラーメン構造の場合 19 要素、4 層ラーメンの場合 28 要素であ

要素	A	I	荷重条件
(1)	0.56	0.71	$V_c = 7562$
(2)	0.56	0.70	$V_s = 124$
(3)	0.54	0.69	$M_s = 163$
(4)	0.53	0.68	自重: $g = 1206$
(5)	0.52	0.67	柱: $\sigma_y = 36000$
(6)	0.50	0.65	梁: $\sigma_y = 24000$
(7)	0.49	0.64	
(8)	0.47	0.63	
(9)	0.44	1.06	
(10)	0.25	0.68	
(11)	0.18	0.32	単位: tf, m

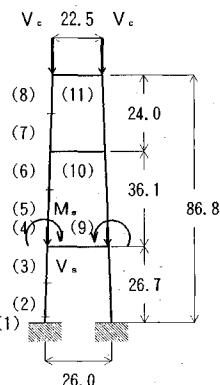


図-3 断面諸元と荷重条件 (3 層ラーメン構造)

要素	A	I	荷重条件
(1)	1.52	3.68	$V_c = 14700$
(2)	1.22	3.04	$V_s = 480$
(3)	1.21	3.02	$g = 4470$
(4)	1.20	2.99	柱: $\sigma_y = 36000$
(5)	1.19	2.97	梁: $\sigma_y = 24000$
(6)	1.13	2.82	
(7)	1.09	2.69	
(8)	1.08	2.67	
(9)	1.07	2.65	
(10)	0.96	2.37	
(11)	0.95	2.36	
(12)	0.95	2.34	
(13)	0.45	4.94	
(14)	0.48	5.53	
(15)	0.59	2.09	
(16)	0.47	4.26	単位: tf, m

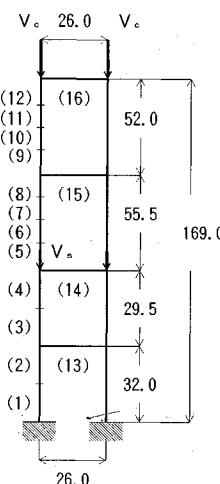


図-4 断面諸元と荷重条件 (4 層ラーメン構造)

る。

3 層ラーメン構造に対する現行設計法には道示を、4 層ラーメン構造には吊橋主塔設計要領¹¹⁾ (以後本四規程と呼ぶ) を適用している。この場合、両設計法における安定照査式は、

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{C_m \sigma_b}{\sigma_{ba}(1 - \sigma_c/\sigma_e)} \leq 1 \quad (15)$$

である。ここに、 σ_c 、 σ_b は各々作用軸圧縮応力度、作用曲げ応力度、 σ_{ca} は許容軸圧縮応力度、 σ_{ba} は許容曲げ応力度、 σ_e はオイラーの座屈荷重、 C_m は換算モーメント係数である。なお、道示の許容軸応力度 σ_{ca} を評価するための腹材間の有効座屈長は、ノモグラムにより算出した¹¹⁾。

図-5 は、3 層ラーメン構造に対する解析結果を示している。横軸には、式(14) および式(15) の照査式の値を、縦軸にはラーメン柱の要素座標を取っている。なお、図中には ζ 法における ζ 値も表示している。

ζ 法の実線は、ほぼ 0.7-0.8 の範囲にあり、道示の

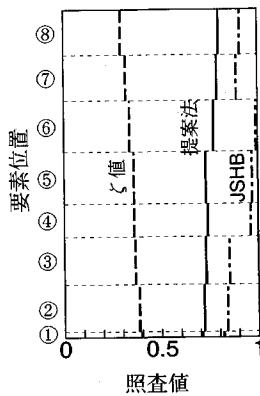


図-5 断面照査の比較

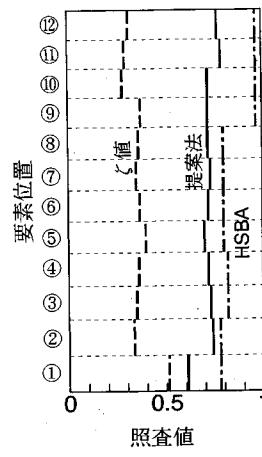


図-6 断面照査の比較

破線に比べて全ての断面において低めの値を示した。これは、曲げモーメントが小さく軸圧縮力に支配される構造のため、式(15)の照査式における許容軸圧縮応力度 σ_{ca} と、式(14)の設計圧縮耐力 N_{cr} の評価の違いに起因している。道示の σ_{ca} は、有効座屈長の評価の影響により $\sigma_y/1.71$ より低い許容値になったのに対し、 ζ 法は $N_{cr} > N_y$ になり、設計断面耐力が N_y に支配されたためである。また、 ζ 値が基部領域に至るほど大きな値になっているのは、基部ほど軸応力度が小さいためである。

次に、4層ラーメン構造について同様の計算を行った。その結果を示したのが図-6である。なお、本四規程による照査は腹材間で行ったため、腹材間で一定値を示している。この場合、3層ラーメン構造とは荷重状態が若干異なるものの、全体的には同様な傾向を示している。

以上のことから、提案する ζ 法は、従来の設計法に比べて設計断面に余裕が生まれるとともに、照査荷重による軸応力度の関数として与える ζ 値の適用により、限界断面耐力として降伏荷重をとれる範囲が軸応力度の低下に伴い拡大している。

5. まとめ

鋼ラーメン構造の終局強度設計の観点から、ラーメン

柱の新しい座屈設計法として提案した ζ 法は、(1) ζ 関数の導入により、ラーメン柱の初期不整による耐荷力への影響を容易に考慮できる、(2) 有効座屈長の概念を用いる必要がない、(3) 変断面を持つ構造全体系の安全性照査が可能である、などの特徴を有しており、その有効性は、実橋モデルを対象とした数値計算により明らかにできた。

一方、 ζ 法の今後の検討課題として、始めから外力によって大きな曲げを受けるような部材に対する適正な ζ 関数の評価、および横ねじれ座屈および局部座屈を生じる構造系への適用性などを挙げることができる。

参考文献

- 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1990.2.
- 野上邦栄：ラーメン柱の実用的座屈設計法に関する一提案、土木学会・鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会・終局強度設計分科会資料、1991.4.
- 倉方慶夫・西野文雄・長谷川彰夫：骨組構造物の座屈設計法の問題点とその対処の方法、東京大学工学部土木工学科応用力学研究室、1989.10.
- 野上邦栄・成田信之：吊形式橋梁の塔の座屈設計に関する一考察、土木学会論文集、No. 446/I-19, pp. 225~234, 1992.4.
- 中井博・酒造敏広・大垣賀律雄：鋼薄肉ラーメン構造物の限界強度の近似計算法、土木学会論文集、No. 380/I-7, pp. 263~272, 1987.4.
- 長谷川彰夫・西野文雄：線形化有限変位理論による構造物の設計法の提案、土木学会第44回年次学術講演会、pp. 108~109, 1989.10.
- 宇佐美勉・垣内辰雄・水野克彦：鋼ラーメン構造物の合理的設計式の一提案、土木学会論文集、No. 404/I-11, pp. 331~340, 1989.4.
- 小林岳彦・野上邦栄：骨組構造物の耐荷力照査法に関する一提案、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、pp. 162~163, 1990.10.
- 野上邦栄・小林岳彦：平面ラーメン構造物の実用的な耐荷力算出法について、JSSC構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第12回、pp. 467~472, 1988.7.
- T.V. Galambos : Structural Stability Research Council, Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 4 th Ed. John Wiley & Sons, 1988.
- 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説、1989.4.

(1992.5.26 受付)

A PROPOSAL OF PRACTICAL METHOD OF STABILITY DESIGN FOR STEEL FRAMES

Kuniei NOGAMI

A practical design method is proposed for steel framed structures in which buckling design under ultimate limit states poses problems. Here, improvements such as a ζ function have been incorporated in the new method to allow for simple safety verification unrestricted by the concept of the effective length. The new method was applied to actual multiple-layer frames and the efficiency of the method was confirmed.

圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

未来設計企業



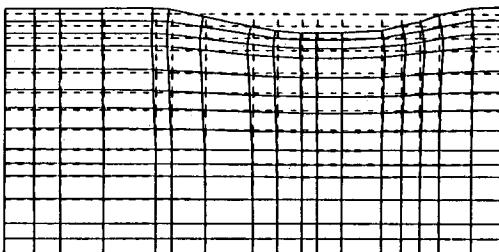
地盤の非定常圧密解析プログラム



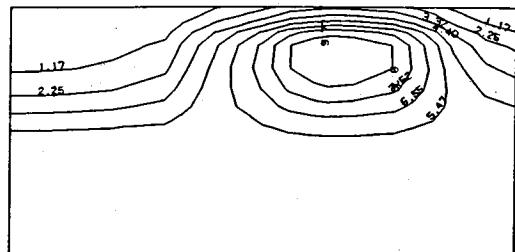
(特長)

- 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



過剰間隙水圧コンター図

※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。

株式会社 CRC総合研究所 西日本支社

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当:岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口:小林

地盤の有限要素法 解析ソフト

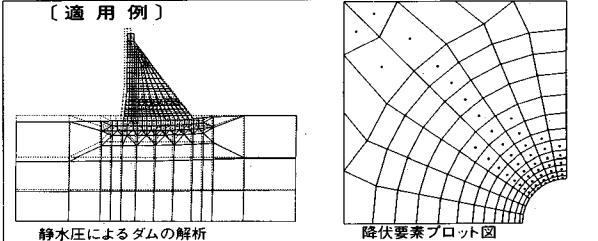
未来設計企業
CRC

世界標準のソフトウェア **Mr. SOIL** Version-2.5

■ 豊富な機能

- ・弾性及び弾塑性解析が可能。
- ・掘削・盛土機能により、施工ステップにしたがった解析が可能。
- ・荷重の段階的載荷が可能。
- ・側圧係数の指定が可能。
- ・充実したグラフィック機能
変位ベクトル図^{*}、変位コンター図^{*}
応力ベクトル図^{*}、応力コンター図
構・梁要素断面力図^{*}
降伏要素プロット図^{*}

^{*}はV.2.5による追加機能



■ お求めやすい価格設定

パソコン版(PC-9801シリーズ) 64万円(税別)
EWS版(NEWS, SUN, HP, VAXなど) 220万円(税別)

■ 実績が示す高信頼性(使用実績187本 平成2年度8月末現在)

(株)アースコンサルタント アイドールエンジニアリング(株) 株式会社エニジニアリング 株式会社建設コンサルタント 石川工業高等専門学校 石川工業高等専門学校 株式会社エスコ 上山試験工業(株) 運輸省港湾技術研究所 株式会社コンサルタント 株式会社Tテクノロジーズ 株式会社オーリエンタルコンサルタント 株式会社応用地学研究所 大阪大学 大阪市交通局 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 大阪府立大学 岡山大学 岡山大学 株式会社奥村組 技術研究所 奥村組土木興業(株) 小田急建設(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) 金沢大学 金沢大学 川崎地質(株) 関西電力(株) 岩水開発(株) 関西航測(株) 株式会社基礎建設コンサルタント 関西大学 九州共立大学 九州産業大学 九州産業大学 九州産業大学 九州大学 九州電気開発(株) 京都市立伏見工業高等学校 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 近畿大学 岐阜工業高等専門学校 久保田建設(株) 株式会社谷組 株式会社熊谷組 株式会社東京建設コンサルタント 株式会社建設工学研究所 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 神戸大学 佐伯建設工業(株) 佐藤建設(株) 佐藤工業(株) 佐藤工業(株) サンコーコンサルタント(株) 滋賀県立短期大学 株式会社CIT構造技術研究所 島根大学 昭和地質情報リサーチ(株) 株式会社新日本技術コンサルタント 新日本製鉄(株) 新技術計画(株) 技術設計部 JR西日本コンサルタント(株) 株式会社住化土建建設 株式会社住友建設 株式会社住友建設 株式会社ソイルブレーン 促進工事(株) 株式会社第一コンサルタント 大成建設(株) 大成基礎設計(株) 大豊建設(株) 株式会社ダイヤコンサルタント 株式会社ダイヤコンサルタント 株式会社高千穂設計コンサルタント 株式会社タカラエンジニアリング 株式会社竹中工務店 玉野総合コンサルタント(株) 株式会社地崎工業 株式会社地盤調査事務所 株式会社中央設計技術研究所 株式会社中央復建コンサルタント(株)	中国電力(株) 中部電力(株) 中部電力(株) 通信土木コンサルタント(株) 株式会社テノックス 東海大学 株式会社東京建設コンサルタント 東京大学 東京地下工事(株) 東京都土木技術研究所 東建地質調査(株) 東邦工業(株) 東電設計(株) 東電設計(株) 株式会社東日測量設計社 東邦エンジニアリング(株) 株式会社東洋技術コンサルタント 動力炉・核燃料開発事業団 戸田建設(株) 株式会社中堀ソイルコーナー [*] 西谷技術コンサルタント(株) 株式会社西松建設 技術研究部 日本大学 日本大学 日本钢管(株) 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) 日本交通技術(株) 日本通信建設(株) 日本鉄道コンサルタント(株) 日本水工設計(株) 日本道路公団 試験所 株式会社日本パブリックエンジニアリング 株式会社日建技術コンサルタント 株式会社ニュードesign 八戸工業大学 株式会社建設工業 株式会社神戸コンサルタント 東日本旅客鉄道(株) 株式会社日立造船技術研究所 ヒメノコンサルタント(株) ヒロセ(株) 福井大学 株式会社藤井基礎設計事務所 株式会社フジタ工業 株式会社フジタ工業	(株)復建エンジニアリング (株)復建エンジニアリング 藤原技術士事務所 復建調査設計(株) 不動建設(株) 不動建設(株) 不動建設(株) (株)美濃調査設計事務所 北光ジオリサーチ(株) 前田建設工業(株) 前田建設工業(株) 前田設計(株) 株式会社三井 三井建設(株) 三菱重工業(株) 明治コンサルタント(株) メトロ設計(株) 株式会社守谷商会 山口大学 山口大学 山口大学 株式会社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 和歌山工業高等専門学校	海外 オランダ デルフト大学 米国 ミネソタ大学 米国 イクスカ社 西オーストラリア大学 韓国 大林エンジニアリング 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 正友エンジニアリング 韓国 先進エンジニアリング 韓国 大宇 韓国 又大エンジニアリング 韓国 原子力研究所 韓国 三安エンジニアリング 韓国 都和エンジニアリング 韓国 宇星エンジニアリング 韓国 ソウル大学 韓国 ソウル大学 韓国 光州大学
---	---	---	---	---

(五十音順 敬称略)

株式会社CRC総合研究所 西日本支社

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当: 岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口: 小林

土と水の連成逆解析プログラム

未来設計企画
CRC

UNICOUPL

応力解析と浸透解析がドッキングした!

軟弱地盤の解析に!

海洋開発・埋立

盛土・掘削

出力項目

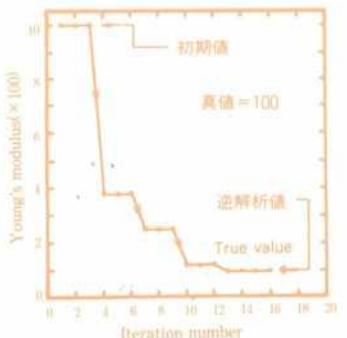
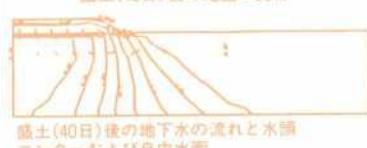
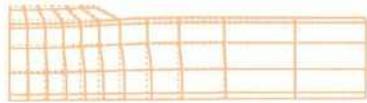
- 各節点での変位、各要素での応力
- 各節点での全水頭、圧力水頭
- 豊富な図化処理

変位図、変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力センター図、安全半径センター図、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。
- 柔や連結要素も扱え実用的です。
- 短時間観測記録(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・弾塑性・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・チャーンの双曲線モデル)
 - 弾塑性(ドラッガー、プラガード、モール、クーロン、カムクレイモデル、ハードニング、ソフトニング)
 - 弾粘塑性(関口、太田モデル)



ヤング率と繰り返し回数の関係
逆解析によるパラメータの推定

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す。
IPA 情報処理振興事業協会

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

問合せ先

〒541 大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06) 241-4121 営業担当:岩崎
(03) 3665-9741 本社窓口:菅原