

地盤の液状化解析システム MuDIAN

MULTIPHASE DYNAMIC INTERACTION ANALYSIS



株式会社 竹中工務店

本 社 大阪市中央区本町4丁目1-13<〒541> 06/252-1201
北海道支店 札幌市中央区大通西4丁目1<〒060> 011/261-2261
東北支店 仙台市青葉区国分町3丁目4-33<〒980> 022/262-1711
東京本店 東京都中央区銀座8丁目21-1<〒104> 03/3542-7100
横浜支店 横浜市西区花咲町6丁目145<〒220> 045/321-1261
東関東支店 千葉市中央区中央港1丁目17-2<〒260> 043/242-0501
北関東支店 大宮市仲町2丁目25<〒330> 048/647-4471
西関東支店 八王子市明神町2丁目27-6<〒192> 0426/48-8131
名古屋支店 名古屋市中区錦1丁目18-22<〒460> 052/211-2111
大阪本店 大阪市中央区本町4丁目1-13<〒541> 06/252-1201
神戸支店 神戸市中央区磯上通7丁目1-8<〒651> 078/265-3300
京都支店 京都市中京区壬生賀陽御所町3-1<〒604> 075/801-2131
四国支店 高松市西内町12-11<〒760> 0878/51-1175
広島支店 広島市中区橋本町10-10<〒730> 082/212-0111
九州支店 福岡市中央区天神4丁目2-20<〒810> 092/711-1211

お問合せ先: 総本店広報(大阪) 06/252-1201
(東京) 03/3542-7100



株式会社 竹中土木

本 社 東京都中央区銀座8丁目21-1<〒104> 03/3542-6321
北海道支店 札幌市中央区大通西4丁目1<〒060> 011/241-6428
東北支店 仙台市青葉区国分町3丁目4-33<〒980> 022/221-7681
東京本店 東京都中央区銀座8丁目21-1<〒104> 03/3542-6321
横浜支店 横浜市西区花咲町6丁目145<〒220> 045/321-3141
名古屋支店 名古屋市中区錦1丁目18-22<〒460> 052/231-2121
大阪本店 大阪市中央区本町4丁目1-13<〒541> 06/252-4081
四国支店 高松市西内町12-11<〒760> 0878/51-8427
広島支店 広島市中区橋本町10-10<〒730> 082/222-7400
九州支店 福岡市中央区天神4丁目2-20<〒810> 092/711-1831

お問合せ先: 技術開発本部(東京) 03/3542-6321

技術研究所 千葉県印西市大塚1丁目5-1<〒270-13> 0476/47-1700

<http://www.takenaka.co.jp>

このパンフレットは、再生紙を使用しています。
This brochure uses recycled paper.

TAKENAKA CORPORATION

HEAD OFFICE

1-13, 4-chome, Hommachi, Chuo-ku, Osaka 541, Japan
Tel: (06) 252-1201 Fax: (06) 263-5782

MAIN OFFICES

TOKYO

21-1, 8-chome, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan
Tel: (03) 3542-7100

OSAKA

1-13, 4-chome, Hommachi, Chuo-ku, Osaka 541, Japan
Tel: (06) 252-1201

REGIONAL BRANCHES

Sapporo, Sendai, Yokohama, Chiba, Omiya, Hachioji, Nagoya, Kobe,
Kyoto, Takamatsu, Hiroshima and Fukuoka

OVERSEAS OFFICES

New York, Chicago, Indianapolis, Atlanta, San Francisco, Los Angeles, Honolulu,
São Paulo, London, Milton Keynes, Cardiff, Birmingham, Paris, Barcelona,
Düsseldorf, Hamburg, Frankfurt, Berlin, Amsterdam, Brussels, Tehran, Bangkok,
Jakarta, Singapore, Kuala Lumpur, Taipei, Hong Kong and Beijing

For Further Information Contact:

Public Relations, General Headquarters (Osaka) Tel: (06) 252-1201
(Tokyo) Tel: (03) 3542-7100

TAKENAKA CIVIL ENGINEERING & CONSTRUCTION CO., LTD.

HEAD OFFICE

21-1, 8-chome, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan
Tel: (03) 3542-6321 Fax: (03) 3541-1660

MAIN OFFICES

TOKYO

21-1, 8-chome, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan
Tel: (03) 3542-6321

OSAKA

1-13, 4-chome, Hommachi, Chuo-ku, Osaka 541, Japan
Tel: (06) 252-4081

REGIONAL BRANCHES

Sapporo, Sendai, Yokohama, Nagoya, Takamatsu, Hiroshima and Fukuoka

OVERSEAS OFFICES

Jakarta, Bangkok

For Further Information Contact:

Office of Technical Development Department Tel: (03) 3542-6321

TAKENAKA RESEARCH & DEVELOPMENT INSTITUTE

5-1, 1-chome, Ohtsuka, Inzai-shi, Chiba 270-13, Japan
Tel: (0476) 47-1700

TAKENAKA

「液状化現象」への対応は、完全なシミュレーションからはじまります

The Formulation of Countermeasures against the “Liquefaction Phenomena” Starts with a Thorough Simulation Study

地震の恐ろしさは、振動だけではありません。その振動によって地下水面下の砂地盤が液状化し、地盤そのものが破壊されてしまう、いわゆる「液状化現象」が大きな被害をもたらすことは、すでに良く知られています。この危険な現象にいかに対応するか——。四方を海に囲まれ、その海岸線に多くの都市を発達させてきたわが国にとっては大きな問題です。とりわけ、砂地盤に支えられたウォーターフロントの開発では、この問題を避けて通るわけにはいきません。

竹中工務店では、地震時における地盤挙動のシミュレーションプログラムを開発し、液状化現象に対する対策工法の開発とともに、構造物の安全確保に全力で取り組んでいます。ここにご紹介する「地盤の液状化解析システム—ムーディアン」は、当社が中心となって、日英・産学共同開発チームで開発し、グレードアップを重ねてきた、きわめて完成度の高い「液状化現象シミュレーションシステム」です。

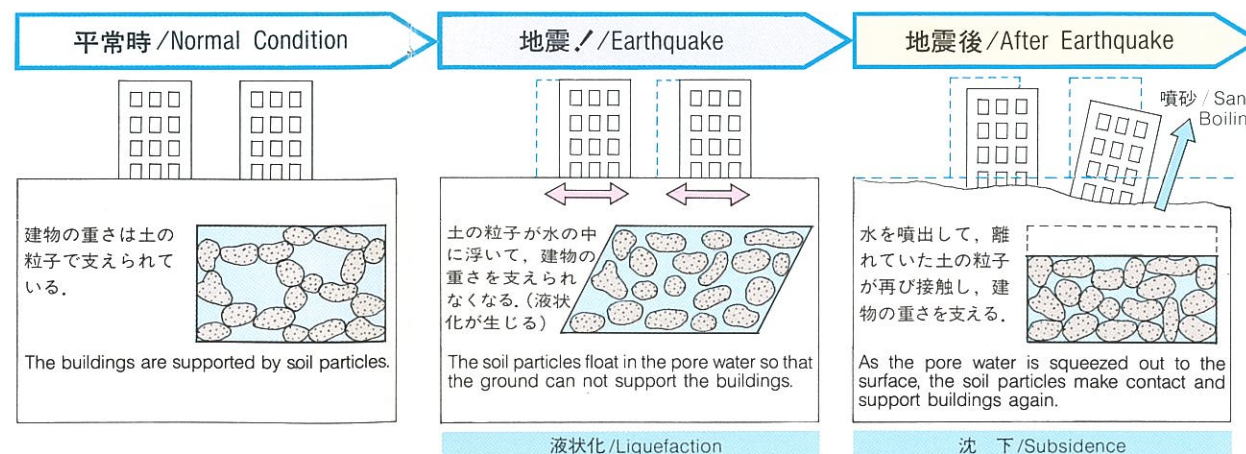
The most threatening aspect of an earthquake is not only the vibration of the tremor, but also the damage caused by the liquefaction phenomena. It is widely known that the sand bed below underground water level is subject to liquefaction during earthquake vibrations, causing disruptions on the ground surface. This is a serious problem for Japan, as she is an island nation, surrounded by water and many of her major cities located in coastal areas. Thus, the formulation of countermeasures against the phenomena of liquefaction is important to the Japanese. This is particularly true in developed waterfront areas constructed upon sand bed foundations. In short, it is of great importance that a solution is found to this dangerous phenomena.

We at Takenaka have been researching structural safety assurance, as well as, the development and implementation of construction methods for taking countermeasures against the phenomena of soil liquefaction. This is accomplished through the development of a simulation program for ground behavior during earthquake vibrations. The “MuDIAN”, which is introduced here, is a “Liquefaction Phenomena Simulation System” which has reached a very high level of development. With Takenaka acting as the core research entity, in cooperation with various industrial and university teams in Japan and Professor Zienkiewicz, university college of Swansea in United Kingdom, this system was developed.



地盤液状化のメカニズム

私たちの足下を支えている砂地盤は、通常、土粒子相互の接触によって上部の荷重を支えています。この土粒子の間隙は、地下水によって満たされています。ここに地震のような大きな外力が加わったとき、土粒子の並び方が変わってしまいます。粒子間の接触点が失われ、粒子が水の中に浮いた状態となります。地盤の液状化です。地盤の強度が失われ、さらに土粒子の沈殿に伴って地盤沈下と地下水の噴出がおり、地震の被害は倍加されてしまいます。



Mechanism of Ground Liquefaction

The ground upon which we walk is supported through the contact of individual soil particles. The pore between these particles is filled with underground water. Consequently, when an external force such as an earthquake disrupts the stability of the ground, the fixed position of the soil particles is ruptured and the sand begins to float in the underground water. This is the phenomena known as ground liquefaction. When liquefaction occurs, the strength to support the surface ground is reduced resulting phenomena of settlement of a heavy structure, up-lift of a light structure and/or liquefied-sand-boiling. This phenomena obviously compounds and complicates the damage caused by an earthquake.

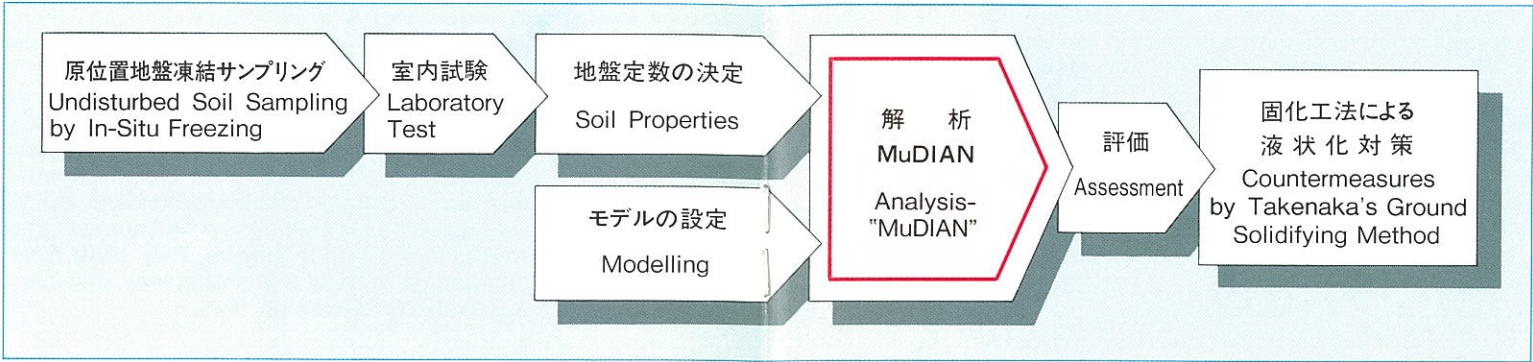
地盤が抱える「地下水」と「非線形性」の問題も克服しました

Our Analysis Covers Problems of Pore Water Flow and Nonlinear Properties

いま液状化現象を克服する方法は一つしかありません。まず地盤状況を調査し、これを適切に解析・評価し、その対策を地盤改良と構造物の設計に反映させることです。

当社の「ムーディアン」は、これまでのシミュレーションシステムではできなかった、地下水とその砂地盤への影響を把握し、地盤がもつ非線形性という難問も克服しています。

「ムーディアン」は、従来の水平層状だけを対象とした評価法の枠を越え、立体的に液状化の発生領域、発生の程度（液状化の傾向）、液状化対策工法の効果、液状化発生後の状況までを把握できる画期的なシミュレーションプログラムです。



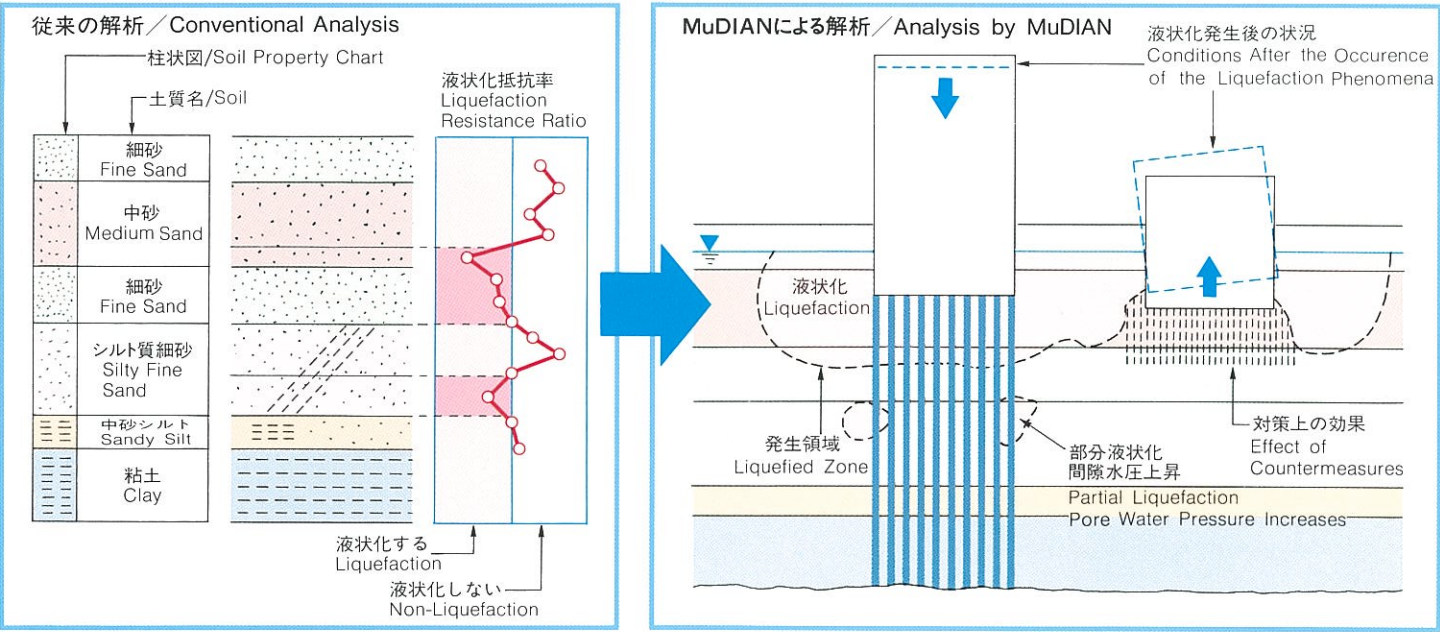
Design against liquefaction is accomplished through surveying the condition of the ground and predicting behavior of the ground and structures in order to improve countermeasures against liquefaction.

Takenaka's "MuDIAN" is able to evaluate the influence of interactions both between pore water and sand skeletons and between structures and ground by overcoming the difficult problems of the non-linear property of the ground.

The degree of liquefaction, the efficacy of the countermeasures and the soil condition after the liquefaction all of these can be evaluated by Takenaka's new system "MuDIAN". It is superior to the conventional evaluation methods which could simulate only the horizontal layers of the soil.

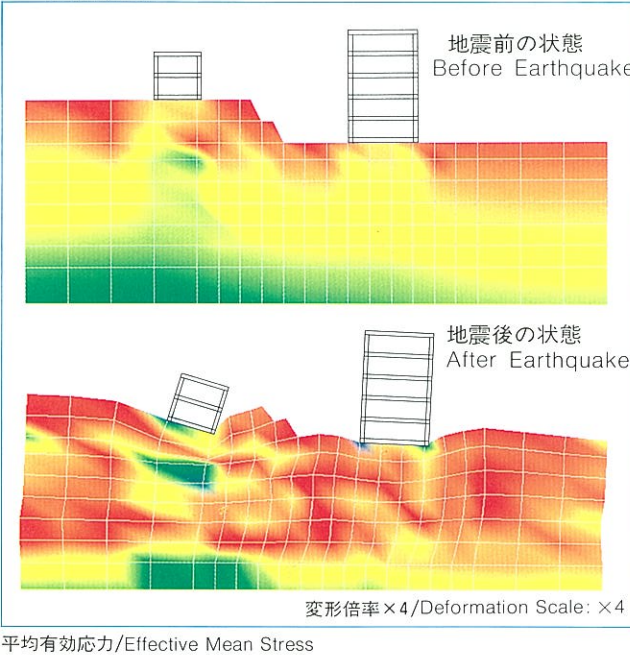
●従来の解析と「ムーディアン」による解析の違い

Conventional Analysis vs "MuDIAN"



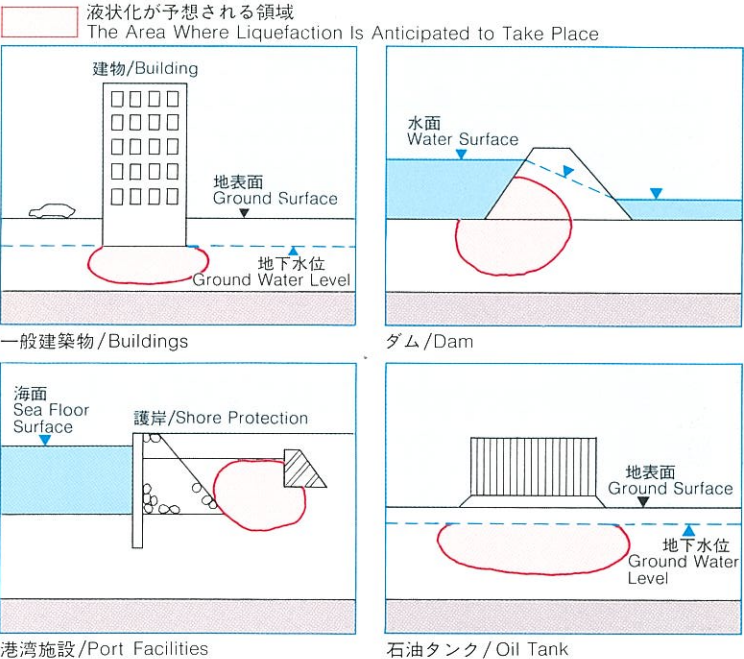
●「ムーディアン」による斜面崩壊解析例

An Analytical Example of Slope Failure by the "MuDIAN"



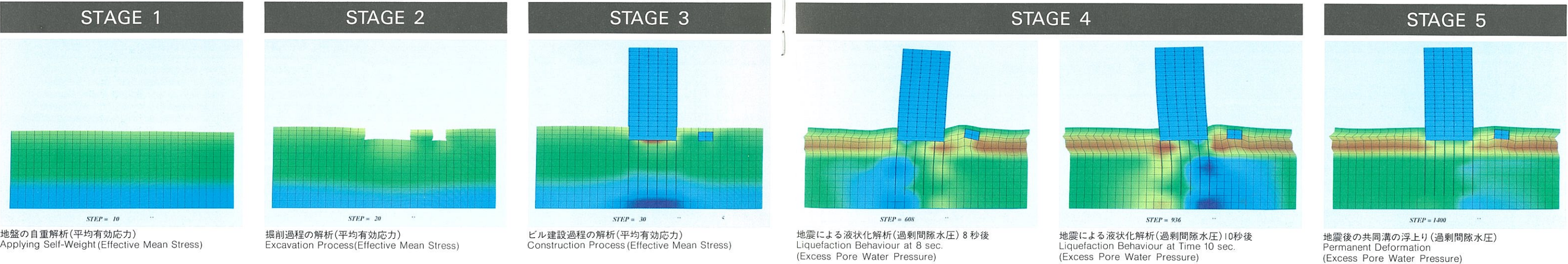
●主な適用例

Principal Applicable Examples



●「ムーディアン」による液状化解析プロセスの一例（ビル建設におけるシミュレーション）

Analysis Process of "MuDIAN" (Including construction stage)



十分な検証のもとに、解析の信頼性を高め、設計・施工に活かしています

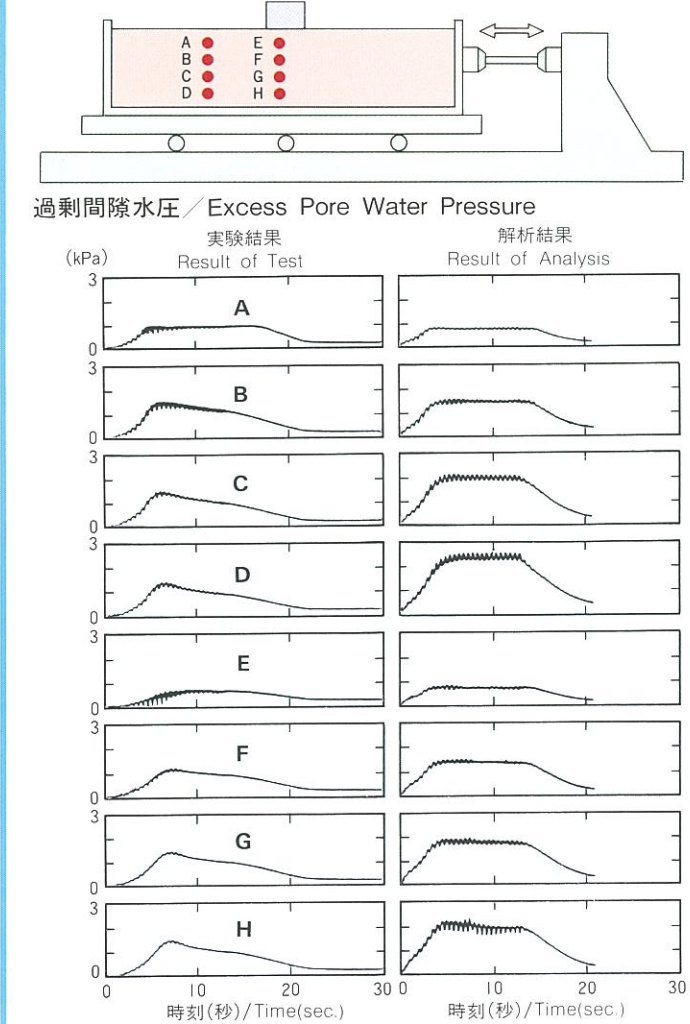
“MuDIAN” Verified with Many Data Is Applied in Design and Construction Stages

「ミューディアン」は、多くの実験結果に基づいたシミュレーション解析を通して、解析法および砂の弾塑性モデルの検証を重ね、シミュレーションシステムとしての信頼性を高めてきました。ここには、その検証例として、模型振動台を使った建物支持地盤の液状化実験と、遠心力载荷装置による水没盛土の液状化実験の解析結果をご紹介します。このほか、下記のようなさまざまな検証例があります。

- 遠心力载荷装置によるコンクリート堤防下の砂地盤の液状化実験
- 各種室内試験による要素テスト
- 新潟市川岸町地盤の液状化シミュレーションによる検証
- 遠心力载荷装置による構造物と地盤の連成振動を伴う液状化実験による検証
- 耐液状化改良地盤の模型振動実験シミュレーション

● 模型振動台による建物支持地盤の液状化実験
Simulation of a Shaking Table Test

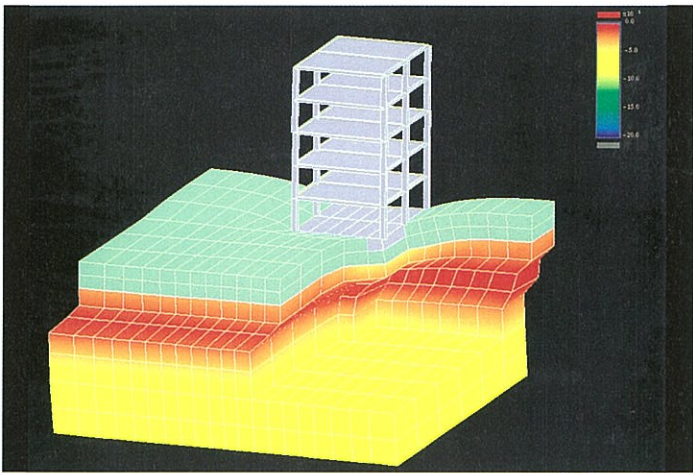
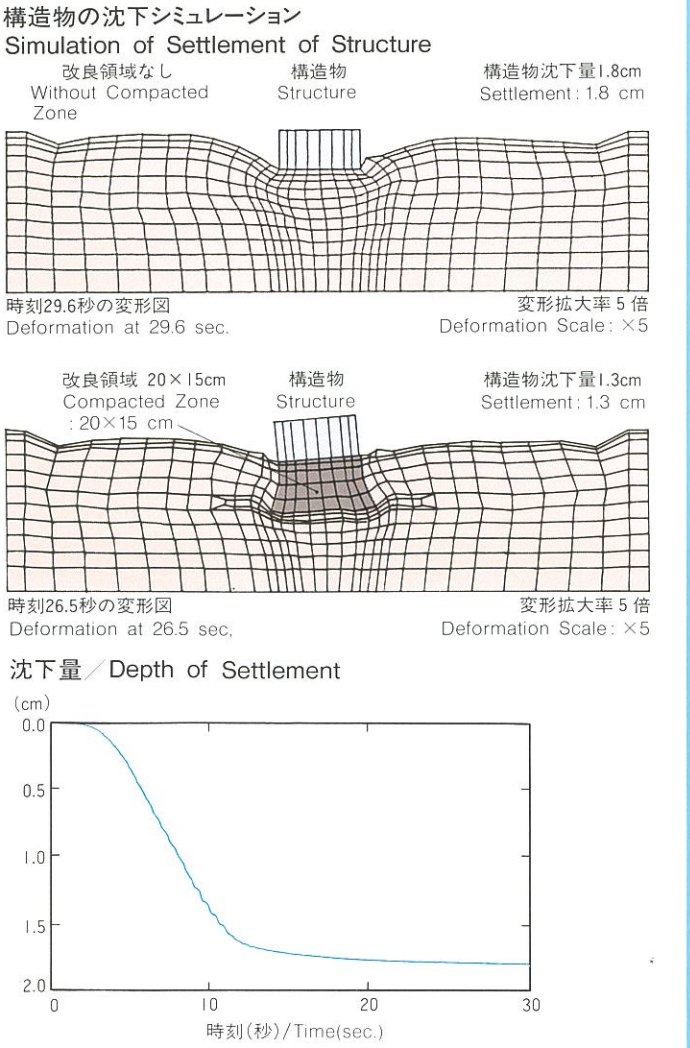
実験例として、液状化に伴う地震中の過剰間隙水圧の発生と、地震後の消散の解析結果、さらに地震中と地震後の建物の沈下の様子を示しました。



“MuDIAN” has been improving the reliability of the analytical approaches and the system itself through the repeated verification studies of the analysis method and the constitutive models of materials. As examples of the verification, here the results obtained from the shaking table test of structure standing on bearing stratum and the centrifugal test of an embankment situated in a water deposit are introduced. Various other examples exist as described below:

- Centrifuge test of the sand bed under the concrete dike
- Various types of soil element tests
- The liquefaction simulation of the ground at Kawagishi-cho, Niigata city, Japan
- Centrifuge test of soil-structure coupled vibration
- The simulation of the shaking table test for the improved anti-liquefaction soil

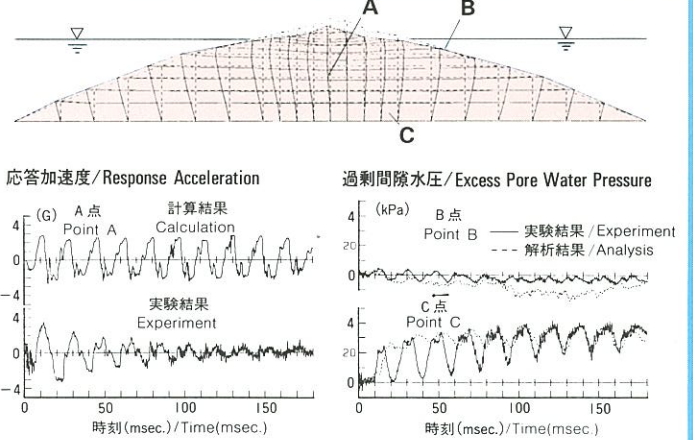
A simulation of a shaking table test during and after an earthquake, are shown as the following.



● 遠心力载荷装置による水没盛土の液状化実験(遠心場加速度42G)
Centrifuge Test of an Embankment Situated in Water (Centrifugal Force: 42G)

盛土内に発生する過剰間隙水圧はその位置によって大きく異なりますが、ここに示す例ではこのことが詳細に解析できています。また任意の位置の変位、加速度、応力などを知ることができます。解析結果は、時刻歴の応答図、変形図、応力の等値線図などによって表示することができます。

The excess pore water pressure which occurs within the embankment differs depending upon location in the embankment. This is closely analyzed in the example shown here. Response quantities such as the displacement, the acceleration and the stress can be calculated at any place in the embankment. The results of the calculation can be displayed through the post plotting processor i.e. the time history, a deformation figure, and an contour of the stresses, etc.



プログラム機能一覧表			
外力	任意点加振 地震入力 入射波入力	解析法	ニュートンラプソン法 初期剛性法 BFGS法
初期荷重	初期応力 固定節点荷重 面荷重 繰返し境界	固有積分	パワー法 ダブルQR法 ニューマークβ法 SSpj法
要素	無反射境界要素 底面ダンパー 二次元四角形要素 剛体、剛棒要素 軸ばね要素 梁要素 ジョイント要素 水要素 六面体三次元要素	解法	インコアスカイライン法
構成比	トレスカモデル ヴォンミーセスモデル モアークロンモデル ドラッカー・ブラッガーモデル 反射曲面モデル デンプシフィックーションモデル マルチメカニズムモデル バストロ・ゼンキュービッチモデル	図形処理	メッシュ図 主応力図 応力値図 コンター図 変形図 最大応答加速度図 固有モード図
		その他	X-Y図 応力、歪、応力不変量、変位、速度、加速度、時刻、反復回数、ステップ数 バンド幅最小化

List of the functions of the program	
External force Exciting force at any place Seismic motion Incident wave	Analysis method Newton Raphson method Initial stiffness method BFGS method
Initial condition Initial stress	Eigenvalue analysis Power method Double QR method
Loading Fixed Point load Surface load Repeated boundary	Time integration Newmark's β-method SSpj method
Element Non-reflecting boundary element Damper Quadratic rectangular element Rigid body, Rigid bar element Spring element Beam element Joint element Water element Hexahedral solid element	Method of solution In-core skyline method
Constitutive model Tresca's model Von Mises's model Mohr Coulomb's model Drucker-Prager's model Reflecting surface model Densification model Multi-mechanism model Pastor-Zienkiewicz model	Post processing (figures) Configuration (mesh, boundary) Principal stress Stresses value Contours Deformation Maximum response acceleration Eigenvalue mode X-Y plot Stress, Strain, Stress and strain invariants, Displacement, Velocity, Acceleration, Iteration, Frequency, Number of steps
	Other Minimizing the band width