2016 MIDAS 1回・2回・3回 建設分野技術講座



MIDAS ITは世界の技術者を支援します



About MIDAS IT

MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス 統合ソリューションを提供する会社です。

2000年9月に設立、現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、 ドバイ、シンガポールの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通し、110ヶ国に工学技術用ソフトウェア を販売する世界的な企業として成長しました。

また、技術者の皆様の技術力向上のために各分野別に技術講座を実施しており、今後もこのような技術講座を定期 的に開催していきたいと考えております。

このようなセミナーに是非ともご参加頂けますようお願い申し上げます。



Dubai Tower



Palazzo Versace & D1 Tower



Odeon Tower

2016 第 1 回 MIDAS 建設分野技術講座

技術講座

地震応答解析プログラムの使用上の留意点 東北学院大学工学部 環境建設工学科 吉田 望教授 2016 第 2 回 MIDAS 建設分野技術講座 技術講座丨 23-54 Landslide monitoring and early warning 公益社団法人 地盤工学会 会長 東畑 郁生 先生 技術講座II 55-112 土の動的性質のモデル化と地盤の有効応力解析 清水建設株式会社 技術研究所 上席研究員 福武 毅芳 様 実務適用事例丨 113-132 土 - 水連成解析のご紹介 - 静的 / 動的解析 (株)マイダスアイティジャパン 解析技術部 廣瀬 栄樹 実務適用事例II 133-148 GTS NX を活用した非線形動的解析 -RC 基礎の爆発解析

03-22

(株)マイダスアイティジャパン解析技術部 田長雄

2016 第 3 回 MIDAS 建設分野技術講座

技術講座	149-156
トンネル・地下構造物における数値解析 - 除荷挙動が与える 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 西村和夫教授	る影響
技術講座	157-216
地下構造物の地震時の安定性とその評価に対して数値解材 琉球大学工学部環境建設工学科 藍檀 オメル教授	行の役割
実務適用事例	217-230
GTS NX 差別化機能の紹介 -トンネル編 (株)マイダスアイティジャパン	
実務適用事例Ⅱ	231-241
地層境界面を考慮した 3次元解析モデルの作成方法例	Ŋ

株式会社フジタ 建設本部 土木エンジニアリングセンター 設計部 徳永 高志様

2016 第 1 回 MIDAS 建設分野 技術講座 地震応答解析プログラムの使用上の留意点 東北学院大学工学部 吉田望 教授







弾性定数の目安





⑨ ベアリング

15

10 LDT

(1) 供試体

Diamon

せん断ひずみ、

0.6 0.8 圧縮ひずみ s(%)

16









精度とは

- 加速度, 速度, 変位
- ■計測震度
- SI値
- 応答スペクトル、増幅比
- Ariasの地震危険度指標
- 何で判断するかで精度は大きく異なる
- 精度を判断するのは解析者の重要な役割
 - 合わせようとすれば合わせられる
 - 出来ないことも



100

23

1000

10

23

8~10 10以上

36

Amax (cm/s2)

解析例(1):小ひずみ(SHAKEの適用範囲)

- 東大生研千葉実験所
- 1987年千葉県東方沖地震









11 14010 13 125







- 1983年日本海中部地震秋田港EW
 1994年三陸はるか沖地震ハ戸事務所 EW (こちらを使う)
- 1994年二座はるが沖地震 ハド事務/m EW (こうつを使う)
 1994年北海道東方沖地震 花咲港EW
- 2003年十勝沖地震 大樹EW

WHI WHANKNAR

khineski-nish

NT IN A WANTAWAY







解析手法

■ 全体解析

- 地震基盤(Seismic bedrock)→地表
- 分離解析
 - 地震基盤→工学的基盤(Engineering seismic base layer)
 ▶解放基盤=入射波の倍
 - 工学的基盤→地表

$$\frac{(E+F)_s}{E_R} = \frac{(E+F)_s}{E_E} \cdot \frac{E_E}{E_R}$$









二つの分離法の違い



Case_1:Vs=690m/s



Amplification factor

減衰再評価の結果





)

93

89

弹性解析



波動による検討

1983年日本海中部地震の際の不老不死の記録を 工学的基盤複合波として、一旦地震基盤に戻した 後入力



地震基盤と地表の加速度



どのように地震動を設定すべきか



結論

- 工学的基盤で分離すると、表現できない増幅特性がある。
 - 地震基盤からの1次モード
 - 分離した増幅特性の山と谷
 - 数Hzより長周期領域で差が大きい
- 工学的基盤が完全な基盤として作用していないので、 一旦逸散し、再度上昇してくる波がある。
- 地震基盤~工学的基盤の減衰が重要
- 96



工学的基盤の非線形:計算例 地震動 ■ 模擬地震波4S-03NS 2 3 4 5 2 Asl 150 Asl 130 Acl 130 Acl 130 • 地表面. 弾性 WW 大阪:西梅田シールド 1 ST. 東灘深層ボーリング(関電) 101

qq

103

SHAKEによる弾性逆増幅解析





102







1......

Sand 350 Clay 380 2 00 1

SHAKE 120







- •建築基準法:Vs=400m/s
- 工学的基盤以深の地盤構造 →表層の応答が受ける影響







工学的基盤以深条件の変更

変更前のデータ FB	NO.	h (m)	Vs (m/s)
×	9	50.0	378
	10	180.0	379
	11	360.0	690
	12	380.0	1100
	13	1	2800

10層目の各数値

Case No.	1	2	3	4	5	6
V_s (m/s)		200			700	
層厚 (m)	5	50	100	5	50	100
11 展日以降け地電甘船(14-2000…/-)						

11層目以降は地震基盤(V_s =3000m/s)

126

128







134

2016.03.10

地震応答解析プログラムの使用上の留意点-3-

東北学院大学 工学部 吉田 望

目 次

- 1. ジョイント要素
- 2. 軟岩の繰返しせん断特性
- 3. 等価線形解析,全応力解析の適用性

参考文献リスト

参考文献の番号は、スライド番号。私の著書「吉田望(2010):地盤の地震応答解析、鹿島出 版会、256pp.」は番号を示さず引用。

No.	文献
4	• Goodman, R. E. and Taylor, R. L. (1968): A model for the mechanics of jointed rock, Jour.
	of SM, ASCE, Vol. 94, No. SM3, May, pp. 637-659
	• Goodman, R. E. (1976): Methods of geological engineering in discontinuous rocks, West
	Publishing Company;グッドマン R. E. (赤井浩一,川本眺万,大西有三共訳):不
	連続性岩盤の地質工学,森北出版,1978,371pp
	· Goodman, R. E. (1977): Behavior of Joint Masses, Chapter 4, Finite Element for
	Discontinuous Rock, Desai, C. S. and Christian J. T. ed. (1977): Numerical methods in
	Geotechnical Engineering, McGraw Hill
7	• Aydan, O., Ichikawa, Y. and Kawamoto, T. (1990): Numerical modelling of discontinuous
	and interfaces in rock mass, Proc., 4th Japan Computational Mechanics Symposium, Tokyo
	• Tatsuoka, F. and Haibara, O. (1985): Shear Resistance Between Sand and Smooth or
	Lubricated Surfaces, Soils and Foundations, Vol. 25, No. 1, pp. 89-98
10~11	 ・東電設計資料
12~19	・福元俊一,吉田望,佐原守(2009):堆積軟岩の動的変形特性,日本地震工学会論
	文集, 第9巻, 第1号, pp. 46-64
22	Tatsuoka, F. and Shibuya, S. (1992): Deformation characteristics of soils and rocks from field
	and laboratory tests, 生産技術研究所報告, 東京大学, 第37卷, 第1号, pp. 1-136
	Ishihara, K. (1982): Evaluation of soil properties for use in earthquake response analysis, Proc.,
	Int. Symp. on Numerical Models in Geomechanics, Zurich, pp. 237-259
23	吉田望(1994):実用プログラム SHAKE の適用性, 軟弱地盤における地震動増幅シ
	ンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 14-31
24	Finn, W. D. L., Martin, G. R. and Lee, M. K. W. (1978): Comparison of dynamic analyses for
	saturated sands, Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, GT Special Conference,
	Vol. 1, pp. 472-491
26	Ueshima, T. (2000): Application of equivalent linear analysis method taking account of
	frequency dependent characteristics of ground strain to seismic data from Lotung, Taiwan,
	CD-ROM Proceedings of EM2000, 14th Engineering Mechanics Conference, ASCE, The
	University of Texas at Austin, Texas
28	杉戸真太,合田尚義,増田民夫(1994):周波数特性を考慮した等価ひずみによる地

	盤の地震応答解析法に関する一考察,土木学会論文集,No. 493/III-27, pp. 49-58
29~30	末富岩雄,吉田望(1996):一次元等価線形解析における減衰の周波数依存性の考慮
	に関する一検討,第31回地盤工学研究発表会講演集,pp.1119-1120
32~35	Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method
	considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and
	Earthquake Engineering, Elsevier, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
36	土の動的変形定数試験方法基準化委員会(1994):動的変形定数を求める試験機およ
	び試験方法の現状調査報告(国内),地盤および土構造物の動的問題における地盤
	材料の変形特性-試験法・調査法および結果の適用-に関する国内シンポジウム発
	表論文集, p. 76
39~	Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method
	considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and
	Earthquake Engineering, Elsevier, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
$42\sim$	吉田望(1994):実用プログラム SHAKE の適用性, 軟弱地盤における地震動増幅シ
	ンポジウム発表論文集,土質工学会, pp.14-31
$46\sim$	Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method
	considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and
	Earthquake Engineering, Elsevier, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
53~	Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I. and Miura, K. (2002): Equivalent linear method
	considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping, Soil Dynamics and
	Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 205-222
$60\sim$	 ・吉田望:等価線形化法の適用性に関するケーススタディ、大ひずみを考慮した土の
	繰返しせん断特性に関するシンポジウム, pp.57-62, 2013
	 ・吉田望:全応力地震応答解析の適用性に関するケーススタディ、大ひずみを考慮し
	た土の繰返しせん断特性に関するシンポジウム, pp.69-72, 2013

2016 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座 Landslide monitoring and early warning 公益社団法人 地盤工学会 会長 東畑 郁生 先生

Landslide monitoring and early warning

Ikuo Towhata VP for Asia of ISSMGE President of Japanese Geotechnical Society Staying in Auckland with Seelye Fellowship

Acknowledgment to financial supports by the Ministry of Education (MEXT), Tokyo Metropolitan Government, Izu Oshima Municipal Government, Satoshi Goto, Wang Ling and Taro Uchimura among many others.

Slope disaster caused by heavy rain:



Weak geology in Nepal that I saw during my previous visit in 2012:



At Cohsmel between Pokhara and Lumbini; Himalayan tectonic action has ruptured rocks

Disturbed slope after big earthquake and repeated debris flows; Sichuan Province, China





Contents

- 1. Recent slope disasters: Izu Oshima volcanic island
- 2. Mechanism of slope failure
- 3. Device for early warning
- 4. Difficulty in early warning

October 15-16, 2013 More than 800 mm in one night. Rainfall concentrated in a small island \rightarrow out of regional disaster warning. Typhoon passed slowly near the island.



Rainfall-induced slope failure: Izu Oshima volcanic island near Tokyo, October, 2013.



Initiated by shallow failures but evolved to a bigger size by erosion





Very thin failed layer

Piping holes: mechanism of slope failure?



Erosion in the middle part of the slope \rightarrow increased volume of soil flow



Destroyed town



Rainfall induced slope failure



Taiwan, 2011

Heavy rain Slope failure Debris flow Bridge and bus were washed out



Issues of importance

- Slope failure and c
- Inexpensive mitigation
- Warning in TV bas practiced but no co slope geometry
 → not effective fo
- Monitoring a parti
- Detect minor defor
- Install many low-c do not know which



Kinds of landslide mitigation

Human life is saved by these.

- Prevent landslide by Retaining wall, ground anchorage, drainage etc.; expensive
- Reduction of damage by relocation (people may not like this) and/or evacuation (early warning; property may be lost).
- Post disaster recovery: all are lost but let's re-start.

Soil-mechanic approach to early warning of slope failure during heavy rain

- Field investigation to determine strength parameters, or
- Undisturbed sampling for laboratory tests on stressstrain behavior
- · Geohydrology to assess ground water flow
- Monitoring rainfall
- 3-D numerical analyses on slope deformation and ground water flow to evaluate effective stress, shear strength and factor of safety
- Too costly and too time consuming
- Soil mechanics is useless !!??

Two kinds of early warning methodology

2) Ever highest moisture content

in soil triggers slope failure.

Exceeding past max.

Slope displacement

1. Rainfall record criterion

1) Current rainfall intensity; e.g. in the past 3 hours (mm)



Accumulated rainfall (mm)

2. Displacement criterion

Monitoring displacement or else by extensometers, GPS or else.

If displacement time history reaches some critical level, warning is issued for evacuation.

Shallow slope failure is focused on



Sliding of surface weathered material.

Age

Age

Small in scale but many in number.

Kita-nigoro, Tochio, 2004



Where tree roots are shallow, the entire surface soil is lost during heavy rain.

Basic philosophy of early warning

Typical precursors of

- Surface crack
- Roaring sound
- Sound of root cutt
- Water boiling and
- ♦ All suggest groun
- It is difficult to warain or record source
- Alternative idea: 1 sensor.
- We do not know v know where the set
- Cover the entire slope by many inexpensive sensors.

Many inexpensive sensors cover a slope.



Fig. 1 Structure of the proposed wireless monitoring and early warning system


Validation of technology by field monitoring

Current proposal: Caution if rate of angle > 0.005degree / hour &

Alert / Evacuation if > 0.1 deg/hour.



Artificial rainfall test in Sichuan Province, China











Tilting angle * length of vertical rod = lateral displacement. It is equivalent with the data from a conventional (more expensive) extensometer.



Along Three Gorge Dam Reservoir, China, many landslides were going on during filling water.



Monitored tilting angle in Three Gorges Dam Landslide Area





Monitored tilting angle in Three Gorges Dam Landslide Area

Alert / Evacuation if > 0.1 deg/hour.







More details of time history: every 10 minutes



Fig. 17 Site of long-term monitoring along national road





Tilting angle, K-3 (deg)

Extensometers started recording on Jul. 19, while tilt sensors started recording on Aug. 3.



Tiltometer responded prior to extensometer response.

Relationship between monitored rate of tilting and time until final failure



Attempts for multi-point monitoring (in Taiwan)







Monitoring of unstable stones



Basic mechanism of slope failure



Volcanic slope of Izu Oshima Stratification makes the mechanism more complicated.

Stratification makes the meenamism more complicated.

Izu Oshima again Tilting angle was monitored in a very unstable slope but nothing happened.







Increasing hazards of heavy rain and slope disasters

For Mitigation / Prevention,

Slope reinforcement
(retaining walls, rock anchors)
→ good but expensive

Relocation; moving to safer places; not preferred by people because they do not want to lose income



Brick production near Lahar (volcanic mud flow) stream; Philippines

Monitoring and early warning / evacuation; better than other choices but evacuation during mid-night heavy rain is dangerous.

Problems and possible solutions

Heavy rain in summer is likely in mid night: ground temperature is still high but air is cool at high altitude \rightarrow rainfall.

Evacuation at midnight is not a safe idea.

Early evacuation (many hours before rain starts).

Think about staying on the upper floor or in rooms on opposite side of the mountain



Prediction of slope failure is not very accurate.

False positive (not predict failure but it occurs) has to be avoided. False negative (predict failure but it does not happen) is inevitable.

After several false negatives, people will not trust warning.

Also, evacuation is tiresome; staying overnight in shelter? Enjoyable evacuation.

Evacuation drill should be combined with music events, cooking school etc.



Global climate change (warming) is an urgent issue?

- 1. Long-term record of flooding and global temperature change was studied.
- 2. Flooding: Kamo River in Kyoto, 1000-year capital of Japan.
- 3. As the capital, Kyoto provides many written records of flood.
- 4. Temperature: from tree ring.

Kamo River in Kyoto





Esper et al. (2002) Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability, Science, 295, pp.2250-2253.

No good correlation between flooding and long-term climate change. Any other possibility? Correlation between Kamo river flooding and population of Kyoto



Better correlation. People cut down trees in mountains and increased the risk of flooding.

Consequence of 100-year tree planting (afforestation)

Disaster mitigation is not a topic of cost-benefit calculation.



Rokko Mountain



Tanakami Mountain

Conclusions

- MEMS tilting angle sensor has a reasonable cost and appropriate accuracy.
- Many sensors can be installed over an entire slope.
- Increased chance to detect the precursor (minor deformation) of ultimate failure.
- The displacement of a slope observed by tilting sensor and extensometer are equivalent.
- The tilting sensor responds earlier than the extensometer because of its installed location.
- Warning and evacuation when rate of tilting > 0.1 deg. / hour.
- Global warming may not soon affect slope disasters. Protection of forest is more important.



2016 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座

土の動的性質のモデル化と 地盤の有効応力解析 清水建設株式会社 技術研究所 上席研究員 福武 毅芳 様

土の動的性質のモデル化と 地盤の有効応力解析

清水建設(株) 福武毅芳

概要

 土の性質 線形と非線形

2 動的非線形のモデル化
 土の構成式

③ 動的解析手法

等価線形解析 & 非線形解析 & 有効応力解析

•補足:おわんモデル



連続体となっていて初めて機能。

土質材料の特徴

クラック→破壊→瓦礫

・ コンクリート:

・地盤は初めから木っ端微塵に壊れている。
 しかしちゃんと構造物を支持している。Why?
 →

2相混合体に理想化した飽和土要素



全応力 σ 、有効応力 σ '、間隙水圧 p_w



有効応力σ'に基づく摩擦則(土粒子の滑動)

土粒子を滑動させるための 応力比: τ / σ ²=一定値

拘束力 σ ²大:

→滑動させる(変形させる)ための ても大



5

6

土の性質:線形と非線形

• せん断ひずみ依存非線形

•応力依存非線形

★二つの砂試料に触れてください (豊浦標準砂)

① 少し真空引き

② 通常状態 (拘束圧=0)







非線形・液状化特性を求める試験

[規矩大義提供]







液状化試験: 要素レベルで液状化を発生させ, その時の土の強度(応力比)を測る



○ 土中にあるので、試料を取り出すのが困難。
 取り出すことにより性質が変化。

ーつの試験で試料のすべての性質を 把握することは困難。

原位置地盤の評価と試料採取

凍結サンプリング法による試料採取





せん断弾性波速度Vs





② 動的非線形のモデル化

いよいよ 「繰返し」、「非線形」 のお話し

















砂質土の動的変形試験結果

 $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係の<u>拘束圧依存性</u>









*G/G*₀~γ,*h*~γの式

・動的変形試験結果が無くても・・・ 既往の $G / G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 式を用いることも多い。

・しかし動的変形試験は簡単であり、実施することが望ましい。







等価線形解析

■有効ひずみ γ_{eff} $\gamma_{eff} = \alpha \cdot \gamma_{max}, \alpha = 0.65$

■等価ではなく、やや乱暴な近似手法 G, hのイタレーション →結局は、G, h一定の線形計算

■既往コード(SHAKE, FLUSH, ALUSH)の特徴

- ○データ入力が簡単(G/G₀~γ, h~γ)
- 周波数領域での解法(線形)
- 複数剛性の導入 $G^* = G(1+2ih) \rightarrow \tau \epsilon_{\gamma}$ の間に

OFFT(高速フーリエ変換)→計算速い

位相差
等価線形解析の特徴

■長所

〇空間と時間との分離→理論的な扱いが易しい(理論解) 入射波Eと反射波Fの分離が可能

〇デコンボルーション: 地表の観測波から基盤入射波

〇増幅関数の補間

■短所

○ 剛性の低下した「線形」→材料特性の急変時の挙動は捉えられない。(液状化も不可)

○ 高周波数成分の減衰が大(短周期成分が消える)。改良も

○ 系の固有周期付近で増幅が大

31

$G \sim \gamma \cdot h \sim \gamma$ 関係のみで十分か





33

*F*_L値(=*R*/L)の組合せ



*不攪乱試料でないと 正確な*R*,は求められない









理想弾性体と粒状体の比較



38



(d) せん断ひずみ~体積ひずみ関係で見たときの繰返しせん断におけるダイレイタンシー 40



液状化試験と液状化強度

【液状化強度曲線】

せん断応力振幅τ_{cy}を変えて次々に試験を行い、振幅と液状 化に至ったときの繰返し回数をプロットした曲線 →液状化に対する地盤の抵抗力を評価

cf. 金属材料の 疲労曲線 ⁴2⁴ 新6²0 液状化線返し数







以上述べた土の動的性質をモデル化



78 | 2016 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座



土の動的非線形特性のモデル化

(土の構成式)

⑧等価な剛性と減衰定数を持つ 線形モデルに置換	等価線形モデル
⑥基本的な性状を持つ要素の組合 せによる物理的モデル	- カ学モデル
©応力ひずみ関係をある既知の 関数とMasing則を用いて表現	履歴曲線タイプの モデル
创実験・経験式に基づき、土に特有 なダイレタンシーを表現	ダイレイタンシーモデル
⑥降伏関数や塑性ポテンシャル などを用いて定式化	- 弾塑性理論モデル
①内部に蓄積される物理量に 着目して定式化	Endochronic理論モデル
⑧土粒子の微視的メカニズムに 着目して定式化	粒状体理論モデル

運動方程式に組込む (復元力特性)
$M\ddot{u} + C\dot{u} + \mathbf{f}(\mathbf{u}) = F(t)$
解析結果は 構成式とそのパラメ ータに大きく依存!











種々の土の応カ~ひずみ関係の

特徴とシミュレーション











飽和砂と不飽和砂の液状化強度曲線 (豊浦砂、*Dr*=70%)





③ 動的解析手法 (特に有効応力解析)



土の応力-ひずみ関係のモデル化と地震応答解析手法





非線形解析の分類(解析手法の観点から)



地盤の計算法と土質調査

解析手题	解析手法 ひずみ 主な地盤データ		試験,調査			
線形		~10-5	 土質 工学的基盤 せん断波速度 密度 		土質 ボーリング 工学的基盤 標準貫入試験 せん断波速度 PS検層 密度 物理試験、粒度他	
等価線形		~1%		<i>Gとh</i> の γ 依存		動的変形試驗
逐次 非線形	全応力解析	$\sim 10\%$		(<i>G</i> /0	$G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$)	
	有効応力 解析	~100%			液状化 強度	液状化試験

69

動的変形試験から液状化試験まで

(非線形特性と液状化特性)





有効応力解析

- •「土全体」と「間隙水(液相)」について 運動方程式を解く
- ・土粒子骨格の非線形性(構成式)
- ・ダイレイタンシー(過剰間隙水圧)を評価
 →液状化現象:

間隙水圧上昇やそれに伴う土骨格の応力・ひずみ履歴関係の軟化現象

有効応力解析 (基礎式)

① 有効応力の定義式: $\{\sigma'\} = \{\sigma\} - p_{\mu}\{m\}$ ($\{m\} = \{1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\}^{T}$: クロネッカーの δ に対応)

② 土骨格の構成方程式:{σ} = [D]{ε}

③ ひずみ·変位式:{ε}=[L]{u} ([L]: 微分オペレータ)

④ 2相系全体の釣合い式:

⑤ 水の釣合い式: (Darcy則 + 土と水の相互作用の式 + 慣性力)

⑥ 連続の式:

(土要素の体積ひずみ = 水の出入りによるひずみ + 水圧変化によるひずみ)

→ 基礎式(二相系の式)の種々の近似化

73

液状化解析に必要な基礎式

- (1) 有効応力の定義式
 {σ'} = {σ} {m} p
- (2) 土骨格の構成式 {*d* σ '} = [D]{*d*ε}
- (3) ひずみ一変位関係式
 {ε} = -[L]{u}
- (4) 全体の釣合式 $[L]^{T} \{\sigma\} - \rho\{b\} + \rho\{\ddot{u}\} + \rho_{f}\{\ddot{w}\} = \{0\}$
- (5) 水の釣合式 {∇} $p + \rho_f g[k]^{-1} \{\dot{w}\} + \rho_f \{\ddot{u}\} + \frac{\rho_f}{n} \{\ddot{w}\} - \rho_f \{b\} = \{0\}$

(6) 連続の式
{m}^T{
$$\dot{\varepsilon}$$
} = { ∇ }^T{ \dot{w} } + $\frac{n}{k}\dot{p}$

$$\{d\sigma\} = \begin{cases} d\sigma_x \\ d\sigma_y \\ d\sigma_z \\ d\tau_{xy} \\ d\tau_{yz} \\ d\tau_{zx} \end{cases} \qquad \{d\varepsilon\} = \begin{cases} d\varepsilon_x \\ d\varepsilon_y \\ d\varepsilon_z \\ d\gamma_{xy} \\ d\gamma_{yz} \\ d\gamma_{yz} \\ d\gamma_{zx} \end{cases} \qquad \delta_{ij} \sim \{m\} = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$$

75

有効応力解析

飽和した土の全応力と有効応力の関係および 土全体の釣合い式④と液相の釣合い式⑤















地震のアレー観測記録との比較

81



液状化地盤の加速度記録(2方向同時入力) .



NIG018の応答解析





#84



参考文献

- 吉見吉昭・福武毅芳:「地盤液状化の物理と評価・ 対策技術」, 技報堂出版(2005年11月)
- 2) 建築・土木 基礎の耐震設計と解析例,総合土木研 究所(2008年10月)
- 3) 東畑郁生:Geotechnical Earthquake Engineering, Springer, 2008

補足:おわんモデル

Soil Plus, HiPERに実装
 FLIPのカクテルグラスモデルも基本は同じ

87

粒子の動きとダイレイタンシーの直感的理解



ダイレイタンシー ε_v の 膨張成分 ε_Γ と圧縮成分 ε_G への分離

 $\varepsilon_v^{s} = \varepsilon_\Gamma + \varepsilon_G$

89

90

Dilatancy \mathbf{E}^{s}_{v} based on **Bowl model**

Dilatancy \mathcal{E}^{s}_{v}

- = Dilatation component (cyclic positive dilatancy)
- + Compression component (monotonic negative dilatancy)







Dilatancy in the case of repeated circular simple shearing.



(福武, 1989)

95

円経路繰返しせん断

 σ₁, σ₂, σ₃ の値は不変で向きが回転
 → 通常の弾塑性論では評価が困難



非排水条件下の有効応力
体積ひずみdɛ_v=0 より算定
ダイレイタンシー成分dɛ_v^s + 圧密成分dɛ_v^c = 0
dɛ^s_v + dɛ^c_v = 0
dɛ^c_v =
$$\frac{0.434 \cdot C_s}{1 + e_0} \cdot \frac{d\sigma'_m}{\sigma'_m}$$
 (for $d\sigma'_m < 0$)
dɛ^c_v = $\frac{0.434 \cdot C_s}{1 + e_0} \cdot \frac{d\sigma'_m}{\sigma'_m}$ (for $d\sigma'_m > 0$)
f 劾応力 $\sigma'_m = \sigma'_{m0} \cdot 10^{\alpha}$, $\alpha = \frac{-\varepsilon_v^s}{C_s or C_c / (1 + e_0)}$
f 劾応力 $\left(\frac{\sigma'_{m0} - \sigma'_m}{\sigma'_{m0}}\right) = 1 - 10^{\alpha}$ (福武, 1997) 97

履歴関数モデルとの併用と パラメータ

土の構成式の構築へ

(砂、粘土、改良土)








103

土質パラメータ

修正R-0モデルのパラメータ

パラメータ	パラメータの物理的意味
G_0	初期せん断弾性係数。 $G_0 = \rho V_s^2$
h_{max}	最大減衰定数。
γ _{0.5}	G/G ₀ =0.5におけるせん断ひずみ(基準せん断ひずみ)。



	パラメータの意味				
A	ダイレイタンシーの内、膨張成分を表す。 A が大き いと膨張側となりサイクリックモビリティが顕著。				
<i>C</i> , <i>D</i>	ダイレイタンシーの内、圧縮成分と、を表す。と、はG*に対して双曲線。1/Cはせん断初期におけるダイレイタンシーの勾配。1/Dは双曲線の漸近線。				
$C_{s}/(1+e_{0})$) C _s は膨潤指数、e ₀ は初期間隙比。				
X _l	液状化強度 R_l の下限値。 $\tau/\sigma^2 > X_l$ のとき水圧が発生。				



液状化強度の下限値X_lと有効累積ひずみ



② おわんモデルのパラメータ







・ひずみ円経路



清水建設株式会社 技術研究所 上席研究員 福武 毅芳 様

2016 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座 土 - 水 連成解析のご紹介 - 静的 / 動的解析 -(株)マイダスアイティジャパン 解析技術部 廣瀬 栄樹







SoilWorks













MIDAS Information Technology Co., Ltd.

CHANGE IS CHANCE

<u>真空圧密解析</u>



MIDAS Information Technology Co., Ltd.



解析のポイント 〇 帯水層での水位低下をモデル化 一通常の圧密解析では帯水層の水位低下まで解けない 土-水完全連成解析(GTS NX)



```
MIDAS Information Technology Co., Ltd.
```

13

GTS

CHANGE is CHANCE 地下水位低下による圧密解析



MIDAS Information Technology Co., Ltd.



15





MIDAS Information Technology Co., Ltd.



17

GTSN

CHANGE is CHANCE 幾何非線形を考慮した圧密解析





19

GTS N

CHANGE is CHANCE 幾何非線形を考慮した圧密解析





21





23



MIDAS Information Technology Co., Ltd.



25







```
MIDAS Information Technology Co., Ltd.
```







29

GTS

CHANGE IS CHANCE SoilWorks for FLIP









MIDAS Information Technology Co., Ltd.





MIDAS Information Technology Co., Ltd.





ご清聴ありがとうございました。

株式会社マイダスアイティジャパン 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F TEL:03-5817-0787 | FAX:03-5817-0780 E-mail:<u>g.support@midasit.com</u> HP:http://jp.midasuser.com/geotech/

(株)マイダスアイティジャパン 解析技術部 廣瀬 栄樹

 2016 第 2 回 MIDAS 建設分野 技術講座

 GTS NX を活用した爆発解析

 - 地盤 RC 建屋一体モデル

 (株) マイダスアイティジャパン 解析技術部 田長雄

RC基礎の爆発解析

GTS NXでの非線形動的解析

MIDAS IT Japan 建設技術パート

Contents

- 1 耐爆設計について
- 2 基礎の解析事例
- 3 事例の適用効果と検証





3

爆発:何らかの化学的または物理的な原因で、気体が急速的に膨張することを指す.



耐爆性能:爆発荷重の作用に対して壊れない性能 耐爆性能の設計手法は静的と動的の2種類がある.





 基礎の解析事例
 日揮株式会社様と共同に行ったプロジェクトの耐爆分析方法 爆発荷重: ASCE 7(アメリカ建築基準) - 動的荷重

構造物: AISC-360(アメリカ鉄骨造基準) - 非線形3Dモデル

地盤: 地盤とRC基礎の境界面を考慮



GTS NX









動的材料強度

動的設計強度 F_{ds} は材料降伏値に増加係数の "SIF" と "DIF" を掛けて、F_{ds} = F_v×SIF×DIF で定義する。

1. 強度増加係数(SIF)

材料の平均降伏強度は明記された降伏強度より約25%大きくなっており、実務では材料強度を増加させることができる。

強度増加係数 (SIF)	
材料	SIF
鋼材 Fy ≦ 345MPa	1.1
鉄筋 Fy ≦ 414MPa [※]	1.1
冷間成形鋼	1.21

※ コンクリート強度は曲げよりせん断設計に影響を受けるため、 SIFは1.0とする。

2. 動的増加係数(DIF)

材料はひずみ速度が速いと強度が増加するため、動的解析ではこれを考慮し、材料の強度を割増すことができる。



鋼材の応力ーひずみ関係におけるひずみ速度効果

鋼材の動的増加係数 (DIF)						
	DIF					
****	Yield	Ultimate				
4/3 4~4	Bending/Shear	Tension/Comp.	Stress			
	F_{dy}/F_{y}	F _{dy} /F _y	F_{du}/F_{u}			
ASTM A36	1.29	1.19	1.10			
ASTM A588	1.19	1.12	1.05			
ASTM A514	1.09	1.05	1.00			
ASTM A653	1.10	1.10	1.00			

12

GTS NX









爆発荷重による水平変位が微小で、許容できる。








鉄骨フレームの建屋はRC造より軽いので、引き抜き力が強い. 独立基礎が引き抜き評価は厳しい.



- ・ 非線形シェル要素をサポート。壁とスラブのエネルギーを吸収する影響が考慮できる。
- ・ 地盤+建築機能をサポート。 建物と地盤を一体モデルにして解析できる。

21











トンネル・地下構造物における数値解析 - 除荷挙動が与える影響 -首都大学東京大学院都市環境科学研究科西村和夫教授

トンネル・地下構造物における数値解析 - 除荷挙動が与える影響 -

首都大学東京 西村 和夫

概要

地盤の掘削解析において,解析領域の大き さは変位に大きな影響を与える.同様に,掘 削過程において支保部材等の部材応力もそ の影響を大きく受けている.それらの影響は 地盤の載荷,除荷挙動を解析に反映すること で実務的には簡便に除くことができる.

- 1. 背景
- 1)解析領域の大きさの設定によって地表面沈
 下が大きく変わる. → <u>正解はなんぞや?</u>
- 2)田村・足立(2002*)に代表される多くの 検討がなされているが,有限要素解析にお ける実務的な検討は行われていない.
- 3) 地表面沈下に限らず解析領域の変形はすべ て解析領域の広さに依存する(図-1~3). 結果としてトンネル周辺の応力・変形, トンネルそのものの変形モードも解析領 域に依存する.また,弾塑性解析であって も同様の問題が生ずる.
- 4)数値解析に関するマニュアル等には、
 下方領域 3~4D 側方領域 4~5D,
 下方領域 2~3D 側方領域 4~5D
 など、リバウンド抑制のための解析領域の
 推奨範囲が記述されているが、本来、地盤
 特性に依存して決まる地盤変形を意図的
 に制御していることになり、避けるべき、



図-1 解析領域の設定







図-3 地中変位

- 5) 地盤本来の特性にしたがってリバウンドの過多が決まるのならば, 地盤本来の特性(構成 則)を反映させて解析するべき.
- → 掘削は載荷と除荷の合成挙動であることに着目し、単純な構成則でも良いから除荷剛性を 反映することが必要.

*田村武・足立紀尚:トンネル掘削解析における領域設定について:土木学会論文集 701-Ⅲ-58

- 2. トンネルにおける除荷領域(Mohr-Coulomb 則. 地盤物性は均一. 除荷剛性考慮無し)
- 1) 除荷領域はトンネル形状だけではなく,土被り,地盤物性によっても大きく異なる.
- 2) 図-4 は,均一地盤における土被りの違いによる円形トンネルの解析例.土被りは上図が 1D, 中図が 2D, 下図が 3D (D:トンネル直径).
- → 除荷の程度(値)には場所によって大きな差が あるが特徴的なパターンを描いている.
- → トンネル下部の広がりに比較して、側部とトン ネル上部の除荷領域の広がりが土被りによって かなり異なる.
- 3) 図-5 は同一土被り(1D)における円形トンネル と馬蹄形トンネルの除荷領域の違いの解析例 (物性は図-4 と異なる).
- → 馬蹄形トンネルではトンネル側部に除荷領域が 生じていないが、元々距離が遠いうえ、値は小 さいので大きな問題ではない。
- → トンネルインバート部直近で違いがある.
- 4) 図-6は同一地盤物性,領域,トンネル形状(馬蹄形)で、メッシュサイズの違いの解析例(物性は図-4,図-5と異なる).
- → 除荷領域の広がりには大差はない.トンネル側 部の除荷領域は形状が異なるが、トンネル及び 周辺地盤変形には大きな影響は与えない程度の 除荷量である.



図-4 掘削による除荷領域(円形)



図-5 トンネル形状による違い



図-6 メッシュの粗さによる違い(馬蹄形)

- 3. 地盤の除荷挙動の数値解析への反映
- 1) 地盤はもともと除荷挙動と載荷挙動が異なる.
- → 図-7 上図は軟岩の孔内載荷試験の繰り返し載荷試験結果の例.下図は除荷剛性のひずみ依存度.
- → ひずみレベルで異なるが,除荷剛性は初期剛性の10 倍を超える.
- → ただし,解析において除荷剛性は通常では初期剛性の 3~5倍程度でよいのではないか.
- 2) 初期剛性の3倍の除荷剛性を与えて図-2,3と同様の 解析を行った.
- → 地表面沈下(図-8)は解析領域の大きさに関係なく ほぼ一定となる.地中変位(図-9)は、インバート のリバウンドが、下部解析領域が少ない場合 (Hd=1D)、他のケースとかなり異なる.
- → この結果から、図-1のように意図的に解析領域の 大きさを制御するのではなく、除荷剛性を考慮して 十分な大きさの解析領域を設定することがよい.
- 3) トンネル周辺の変形挙動を確認した(図-10).
- → 除荷剛性を考慮する(右図)ことによってイン バートのリバウンドが抑制されている.
- 4) 図-3, 図-9 トンネル上部の深さに対する変形勾 配の比較と、図-10 左図と比較して右図の天端 上部地山の黄色部分の分布幅の拡大,隣接緑部 分の幅の減少から,天端上方地山の地山に緩み 領域のようなゾーンが形成されていることが わかる.









図-8 地表面変位



図-9 地中変位

- 4. 地中構造物に与える除荷剛性の影響の解析事例
- トンネル周辺の地山変位挙動が除荷剛性の影響を受けていれば、 当然、支保部材応力も除荷剛性の影響を受ける.特に、逐次掘 削が顕著な場合にはその影響が大きいと推測される.
- → 逐次掘削が顕著である,供用中トンネルのインバート新設補強 工事を事例に示す.
- 2) 盤膨れ対策はインバート設置(図-11下図)が本手であるが, 全面通行止めを伴うため,通常はアンカーやパイル(図 11-上 図)を用いることが多い.
- → 片側施工で閉合インバート構造が施工できる工法として, 鋼管 複合インバート工法を考え, 数値解析でその可能性を確認した.
- 3) この工法は、片側通行を確保した上で、もう片方の路盤を掘削、 水平に鋼管を削孔打設し、コンクリートを中詰めする.路盤を インバートアバット状にコンクリートで固める.埋め戻して通 行車線を切り替え、反対車線の路盤を掘 削、先行打設してある鋼管の先を掘り出 し、コンクリートで巻き込んで、図-12 のようなインバート構造とする.
- → 一気に掘削を行うと既設覆工に大きな 応力,変形が生ずることから,部分施工 を繰り返して構造体を構築する.
- → 地山の部分掘削に伴って地山は載荷部, 除荷部が複雑に入れ替わり,覆工,イン バートアバット,鋼管に部分掘削に伴う 応力が導入される.



図-13 鋼管複合インバート施工手順





図-11 盤膨れ対策例



図-12 鋼管複合インバート

step	掘削先行・足付け打設		
1	覆工脚部掘削		
2	足付けコンクリート打設		
3	1	地盤掘削	
4	2	地盤掘削	
5	1	鋼管中詰コンクリート打設	
6	1	インバート打設	
7	3	地盤掘削	
8	2	鋼管中詰コンクリート打設	
9	2	インバート打設	
10	3	鋼管中詰コンクリート打設	
11	3	インバート打設	



- 5. 部分掘削が与える影響(除荷剛性の考慮無し)
- 1) 解析モデル (図-14~16).
- → 地山は Mohr-Coulomb の弾塑性のソリッド要素.
- → コンクリート覆工は線形のソリッド要素
- → 鋼管は外径が8角形でシェル要素(図-16左上赤要素).
- → 鋼管中詰めコンクリートは引張強度設定, 鋼管断面あた り9要素のソリッド要素(図-16左上青要素).
- 2) ステップ解析の結果.
- → 路盤3分割施工(図-13)によって既設覆工には、分割 掘削中央部分で引張力が発生(図-17上図)し、分割施 工境界部で圧縮応力が発生(図-17下図)する。変形は 覆工脚下が掘削されて支持を失うために地山変形に伴 って内空へ押し出される(図-18)。
- → 値は図示しないが,路盤の部分掘削に伴い,図-19下図の赤破線部の鋼管付け根に部分掘削の影響による応力が集中的に生ずる.



図-14 解析モデル



- 6. 除荷剛性を考慮した解析結果
- 1) 図-14のモデルを用いた,除荷剛性を考慮で きる Duncan-Chang の構成則による非線形解 析は、モデルの要素数や解析ステップ(25step) の多さのために、解析が回らなかった.
- → 除荷剛性を考慮した解析は,計算に非常に大き な負荷を与える.
- → 解析ソフトの組み込み構成則のアルゴリズム に工夫が求められる.
- 2) 路盤の部分掘削による変形は、ほぼ路盤水平 面内の掘削の影響が主となっている.
- → 要素数, ステップ数を減らすために, 図-20の ような、ある程度の厚みを持たせた路盤部のみ をモデル化し,除荷剛性の有無による結果 の相対比較で除荷の影響を評価した.
- → 解析ステップは図-21 (上図は平面図).
- → 除荷剛性は初期剛性の5倍.
- → 地山も含めて部材応力, 変形は減少した. 鋼管応力は最大引張力 14%減 最大圧縮力 22%減 中詰めコンクリート最大引張力 17%減 最大圧縮力 57%減
- → 除荷剛性は部材応力にも大きく影響する.





図-20 簡易モデルによる検証



ステップ	詳細	ステップ	詳細
1	自重解析	6	中詰コンクリート鋼管打設
2	変位クリア	7	インバート打設
3	足付け掘削	8	変位クリア(+物性変更)
4	足付け打設	9	12m 地盤掘削
5	12m 掘削		




























































































































































































	Top Soil		解析	手順		
	Mst-Sst-1	1) 📕	重力を作	乍用させる)	
		2) 3	王 炭廃4	亢の掘削		
	Chert	3) F	・ンネル	·掘削		
	E.	1 4) ±	也震波(の入力		
Table 3. Ma	terial prop	erties us	ed nun	nerical and	alyses.	
Layer	Υ	c	ϕ	$\sigma_{_t}$	Е	\mathcal{V}
	kN/m ³	<u>kPa</u>	(°)	kPa	MPa	
Soil	19	50	38	10	270	0.35
Mst-Sst-1	19	700	25	500	750	0.3
Lignite	14	656	45	500	400	0.3
Mst-Sst-2	19	1000	45	700	1073	0.3
	10	2000	45	2000	2647	0.0














































3次元解析の必要性 2次元解析の問題点



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

218 | 2016 第 3 回 MIDAS 建設分野 技術講座







並列 メッシュエンジンの搭載およびDB構造改善で生成時間を大幅に短縮



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

) オートメ	ッシュ 生成時間比較	
区分	従来プログラム	GTS NX
要素サイズ (5m)	 ・ 所要時間: 31.81 SEC ・ モデリング: 8,551 節点、42,737 要素 	 約 5.2倍 UP ・ 所要時間:6.68 SEC ・ モデリング:8,551 節点、42,737 要素
要素サイズ (3m)	 ・ 所要時間: 360.29 SEC ・ モデリング: 33,774 節点、180,414 要素 	 約 30倍 UP ・ 所要時間:12.21 SEC ・ モデリング:33.774 節点、180.414 要素
要素サイズ (2m)	生成不可 (2時間以上経過してもPGが動かない)	 ・ 所要時間:26.24 SEC ・ モデリング:107,586 節点、595,589 要素
要素サイズ (1m)	生成不可 (2時間以上経過してもPGが動かない)	 · 所要時間: 285.79 SEC

Experien	ce the Chang	e, Change the E	xperience!	XX	IX	1	11	GTSNX
3次元解析実現のために								
高速処理ソルバー(並列/GPU処理)								
								1
			111					
					要素	83	4,293 個	
	要素	1,113,497 個			節点	39	4,802 個	
	節点	197,692 個			自由度	1,18	4,406 個	
12倍	プログラム	線形静的	非線形 施工段階 (12段階)	プログ	7 4	解析時間	10/在
	GTS	29分20秒	-		GTS	5	30分10秒	
	GTS NX	5分10秒	5時間 10分		GTS I	X	6分45秒	_
	GTS NX (GPU)	2分30秒	2時間 3分		GTS I (GPU	J)	3分5秒	

※線形静的解析 (1ステップ解析時間) → 施工段階解析, 非線形解析では施工段階数と荷重増分数に比例して解析時間増加

Multi-frontal Solverの並列処理とGPUによる演算で処理速度大幅UP!

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experien	ce the Chang	e, Change the E	xperience!	GTSNX	
3次 〕 高	元解析 速処理	i実現の ノルバー (1	りために 並列/GPU処		
	要素 節点	1,113,497 個 197,692 個		<u>要素 834,293個</u> 前点 204,902個 使用したPCのスペック	
12倍	プログラム	線形静的	非線形 施工段階(:		
- I	GTS GTS NX	29分20秒 5分10秒	 5時間 10分	Memory: 48GB	
	GTS NX (GPU) 2分30秒 2時間 3分 GPU: Nvidia Ter OS: Windows7		GPU: Nvidia Tesla C2025 OS: Windows7 64bit		
※ 線形静的解析 (1ステップ解析時間) → 施工段階解析, 非線形解析では施工段階数と荷重増分数に比例して解析時間増加					
	Mul	lti-frontal Solv	/erの並列処理。	とGPUによる演算で処理速度大幅UP!	



数千万要素をサポートする新しい64ビットフレームワークと高性能のグラフィック・エンジン搭載で性能を強化

MIDAS Information Technology Co., Ltd.



電子地形図を用いた3次元地表面の生成とボーリング調査を用いた地表面のウィザード生成



高精度の結果を提供する高品質のハイブリッドメッシュ (全ての解析で使用可能)



Experience the Change, Change the Exper	rience!	GTSINX
3次元解析実現のた	このに	
トンイル号用ワイリー [タイプ/形状/曲率/支保工設定]	- トリン(波用ビ! ! [吹き付けコンクリート/ロックボルト設定] [掘削間隔/長さ/方法/ロックボルト配置設定]
Image: constraint of the state in	Image: State of the s	Image: constraint of the state of
[地表面/地層面設定]	[情報入力]	[トンネル解析モデル完成]
BARTENDOCH A SECTION (BAR) AND POLON P		
Experience the Change, Change the Exper 3次元解析実現のた 実務解析での難しいる	MIDAS Information Technology Co., Ltd.	GTS NX するmiclasの機能群!!
TGMから地表面生成		#### ### ### ### ### ### ### ### ### #
2 NB//18.		
	ebb xy	yシュ 生成 共有面の確認
結果検討		
角碎	新条件の定義、高性能解析 MIDAS Information Technology Co., Ltd.	高品質のハイブリッドメッシュ 生成



GTS N

Experience the Change, Change the Experience!

19種類の多様な実務材料モデル提供

Elastic	線形 弾性モデル	地盤,構造, インターフェース, 杭要素
Mohr-Coulomb	弾完全塑性モデル	大部分の地盤
修正Mohr-Coulomb	非線形弾性/塑性モデル	シルト/砂地盤に特化したモデル
Drucker-Prager	弾完全塑性モデル	Extended von Mises
von Mises	完全塑性モデル	地盤,構造 両方考慮可能
Tresca	完全塑性モデル	非排水挙動に主に適用
Nonlinear Elastic	非線形弾性モデル	トラス/埋込 トラス, 弾性リンク
Transversely Isotropic	横等方性モデル	Joint岩盤をモデル化
双曲線 (Duncan-Chang)	非線形弾性モデル	双曲線モデル
Hoek-Brown	弾性 完全-塑性モデル	岩盤挙動模擬(一軸圧縮強度定義可能)
Jointed Rock	横等方性 完全塑性モデル	脆性破壊面模擬
修正 Cam-Clay	弾性塑性 硬化モデル	粘土をモデル化
Strain Softening	ひずみ軟化化モデル	3つのひずみ区間で定義可能
Jardine	完全塑性モデル	主に粘土をモデル化
D-min (電中研モデル)	線形弾性モデル	主に岩盤をモデル化
User Supplied Material	ユーザー定義モデル(Fortran)	
Rankine / Inverse Rankine		引張専用挙動 (ジオグリッド要素)
Coulomb Friction		インターフェース要素挙動
Janssen	非線形弾性モデル	シェールインターフェース



御清聴ありがとうございました!



地層境界面を考慮した 3 次元解析モデルの 作成方法例 ^{株式会社フジタ} 建設本部 ±木エンジニアリング センター 設計部 徳永 高志様



地表面モデル作成①

Fujita Corporation



Fujita Corporation



ジオメトリ → ツール → 地表面作成(TGM)を開く!

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 2

地表面モデルの作成③

Fujita Corporation

<-スコンタおよびプロットエリアの設定</p>



サーフェスの作成 → サーフェスの書出しでTMSファイルで保存!

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 4



地層境界でのソリッド分割

Fujita Corporation

①地層境界のサーフェスから地層ごとのソリッドを作成 ②トンネルと地層のソリッドを同時に表示



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 6

地層境界部のメッシュ作成①

Fujita Corporation



トンネルメッシュと地層ソリッド



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 8



地層境界部のメッシュ作成③

Fujita Corporation



④インプリントしたソリッドをオートフェイスにより、2Dメッシュを作成

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 10



⑥2D⇒3Dメッシュ作成機能にて、3Dメッシュを作成





地層(地山)の作成①

Fujita Corporation

地層ごとのソリッド



オートメッシュにて, 地層のメッシュを作成 →ソリッドの面を共有しているため, 共有面は同じメッシュが自動作成される



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 14



GTS NXのフライトシュミレーション機能



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 16



Thank you.

地層境界面を考慮した3次元解析モデルの作成方法例



MIDAS Total Solution

建設分野プログラム



SoilWorks for FLIP FLIP専用のプリ・ポスト

SoilWorks for FLIPはFLIP「地震時の液状 化による構造物被害予測プログラム」専 用のプリ・ポストです。SoilWorksの操作 性をそのまま継承しており、AutoCAD感 覚でデータを作成することができます。 データ作成後は、FLIPを起動させ計算を 実行することもでき、FLIP解析のための 統合された作業環境を提供します。





SoilWorks for LIQCA LIQCA専用のプリ・ポスト

GTS NX GTS NX - 地盤分野汎用解析システム

GTS NXは最先端PRE-Postと解析機能を搭載した新しい概念の地 盤汎用解析プログラムです。GTS NXは最新のOS環境変化に合 わせて64ビット、並列処理を適用した統合ソルバを搭載しており、 初心者も使いやすいように直観的なリボンメニュー形式を用意し ております。また、様々な解析機能、圧倒的に速い解析速度、優れて いるグラフィック表現および結果整理機能などを提供します。 SoilWorks for LIQCAはLIQCA専用のプ リ・ポストです。SoilWorksの操作性をそ のまま継承しており、AutoCAD感覚でデ ータを作成することができます。データ 作成後は、LIQCAを起動させ計算を実行 することもでき、LIQCA解析のための統 合された作業環境を提供します。 ※ LIQCAは1987年京都大学の岡二三生教授

をはじめとするLIQCA開発グループにより開発された有効応力に基づく液状化解析プログラムです。

MIDAS Family Programs

MIDAS 製品紹介

MIDAS Family Program は 最先端CAE(Computer Aided Engineering) ソリューションです。



Building Engineering



midas iGen 建築分野の 汎用構造解析および 許容応力度計算

midas eGen 保有耐力自動計算+構造計画/ 設計最適化システム CAD 基盤モデリング

midas **Drawing**

世界初2次元情報CADプログラム 構造図自動生成





midas Civil 土木分野の 汎用構造解析および 最適設計システム

midas FEA 建設分野の 非線形解析および 詳細解析システム 地盤





SoilWorks 2次元地盤汎用解析/設計 プログラム

SoilWorks for FLIP 液状化解析プログラム FLIP用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCA 液状化解析プログラム LIQCA用のプリ・ポスト

GTS NX 2次・3次元地盤汎用解析 プログラム







midas NFX 機械分野の 汎用構造解析システム

midas FX+ 有限要素解析汎用の プリ・ポスト処理プログラム



Change is Chance



株式会社マイダスアイティジャパン 〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.