

解析雑誌

Vol.49 2023.02

Topics

- 超高層建物の施工段階解析
- 構造解析デジタルノート MystructureNote
のご紹介
- 土木(水道施設)向けの地震動作成について
- パフォーマンス・リサーチによる解決事例の紹介
～建設現場における土量配分および土砂運搬
計画の最適化～

Technical Reports

- AIによる構造物モニタリング
畳み込みニューラルネットワークによる建物の
応答加速度時刻歴データの分類

Journal of Analytical Engineering

2022年の振り返りと2023年に向けて

構造計画研究所
建築構造工学部 部長
會田 裕昌

トルコ・シリア大地震の発生によって甚大な被害が出ております。亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、そのご家族や被災された方々に、心よりお悔やみとお見舞いを申し上げます。

また、国内でも直近で地震、火山噴火、台風、大雨、大雪と災害が立て続けに発生しております。災害に対して弊社がどのように関わっていけるのかを改めて考え、襟を正す気持ちで行っていきたいと思います。

ロシアのウクライナ侵攻が始まって1年が経とうとしています。

それに伴い国内でもエネルギー価格の高騰が起こっていることなどから、改めて我が国のエネルギー事情は他国からの輸入依存度が高いということを再認識させられます。

そのような状況下において自国で完結できる再生可能エネルギーの重要性が高まると共に、再生可能エネルギーの割合を増やしていく段階において長期だけではなく、直近でのエネルギー政策をどのようにしていくのかも問われています。

弊社の解析グループでは風力、原子力、火力、水力発電施設において、自然災害に対するシミュレーションにも取り組んできました。

また、近年では洋上風力発電施設の維持管理などにも力を入れています。維持管理については定期点検でセンサーなどを用いて人の介在を減らしていくなど施設の運用面からもお手伝いをさせて頂いております。

国内の状況においては建築物の複雑化が進み、超高層建築物では以前に比べて建築物の応力状態が設計時と施工時でかなり違っていることがあります。そのため設計時から地盤による沈み込み量や施工順序を考慮した解析がより求められるようになっていくだろうと考えております。

本誌では上記の施工段階解析の話題の他にも我々の至近の取り組みについて掲載をさせて頂いております。このような取り組みがお客様の課題解決の一助となれば幸いです。

今後とも弛まぬ努力を続けて参りますので、何卒ご支援の程、よろしくお願い申し上げます。

解析雑誌 Vol. 49 2023. 02

巻頭言 2022年の振り返りと2023年に向けて 02

建築構造工学部部長 會田 裕昌

Topic 1

● 超高層建物の施工段階解析 04

Topic 2

● 構造解析デジタルノート MystructureNote のご紹介 10

Topic 3

● 土木(水道施設)向けの地震動作成について 14

倉掛 猛/高浜 勉/山口 裕美子

Topic 4

● オペレーションズ・リサーチによる解決事例の紹介 20
～建設現場における土量配分および土砂運搬計画の最適化～

Technical Report 1

● AIによる構造物モニタリング 24

畳み込みニューラルネットワークによる建物の応答加速度時刻歴データの分類

建築構造工学部 Khorajia Danish

Kaiseki Portal / From Editors 31

超高層建物の施工段階解析

●なぜ段階施工が必要か

近年、超高層建築物はさらに高層化を続けています。本記事を書いている段階では、地上 390m の超高層ビルが計画されています。超高層建築物は高さ 60m を超える建物のことを言いますが、その 6 倍を超える建物が計画されているということになります。

建物を施工するにはもちろん、建設地点にて部材を少しずつ組み立てていくことで建物が出来上がっていきます。そのため、部材が組み上がっていくにつれて荷重も増加していく、ということになります。一方、設計時に用いる解析モデルはすべての部材が完成した状態ですべての荷重を一気に載荷するような計算方法とすることが一般的です。

このような仮定は実際の施工時の状態とは異なるものの、小さい規模であればそれほど問題とはされてきませんでした。しかしながら、規模が大きくなってくるとこの仮定の違いによる影響は大きくなってきます。

加えて、このような規模の建物は地下階も存在し、工期短縮のために逆打ち工法を採用することもよくあります。逆打ち工法の場合、下層から施工するのではなく、地上と地下を同時に施工していく形になります。逆打ち工法ではまず、構真柱と呼ばれる柱を施工して杭と接続することにより、建物の重量を杭に伝達できるようにします。この状態で地上階の建設を進めながら地下階も施工していくこととなります。したがって、地下階が完全に出来上がる前の状態で、地上階の施工ステージに応じて増加してくる重量を支える必要があります。これは設計時には考慮していない荷重状態となります。

●RESP による施工段階解析

私達の開発している構造計算プログラム RESP では、施工段階解析のための機能として部材の生成・消去の機能が搭載されています。この機能を使うことで、先程紹介したような逆打ち工法のような状況をより現実に近いモデルで表現することができます。

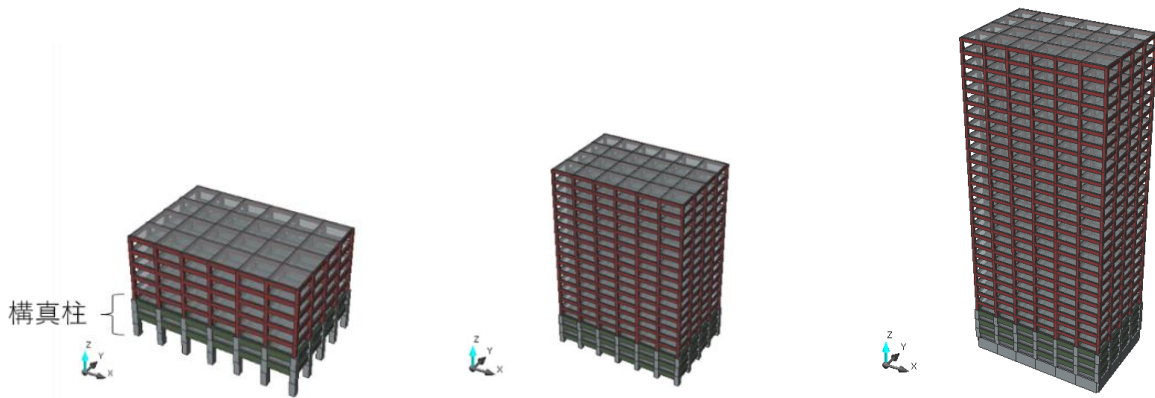
なお、RESP は超高層評定でよく使われているプログラムでもあります。超高層建物の設計で使われているモデルから、そのままシームレスに施工段階解析を実施することができます。なお、RESP 以外の構造計算プログラムで作られたモデルがある場合は、ST-BRIDGE のデータ連携により RESP のモデルを作成すれば、スムーズに RESP の施工段階解析を行うことも可能です。

●試解析による影響検討

あくまでサンプルのモデルですが、試検討を行ってみました。地下 3 階 SRC、地上 25 階 S 造のモデルを想定しています。

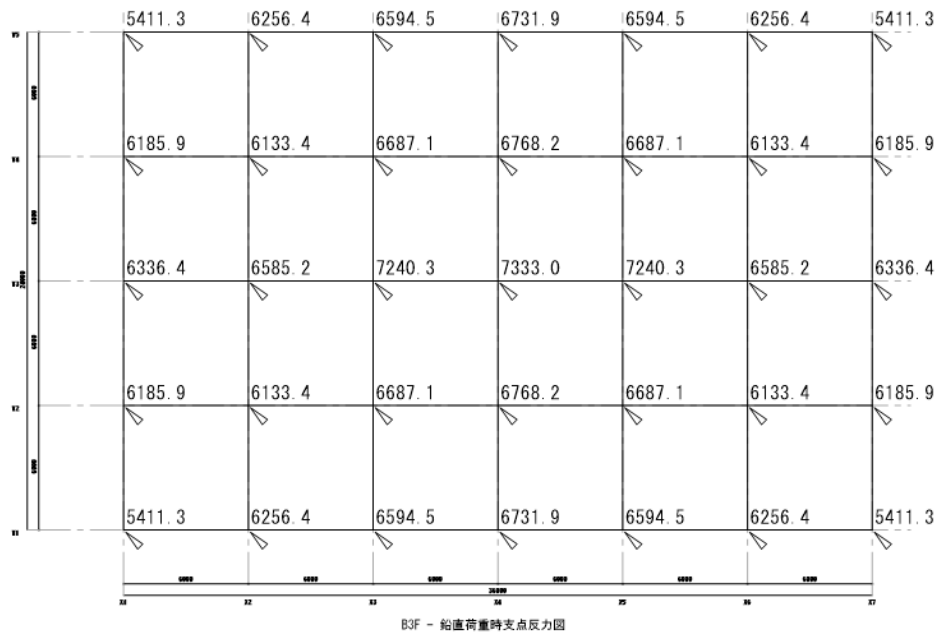
今回は試しに、3 つのステージに分割して施工段階解析を行ってみました。逆打ちを想定し、まず地下部分は鉄骨の構真柱を配置し、地下部分の柱・梁・壁を 1FL、B1FL、B2FL、... といった順序で部材生成していきます。

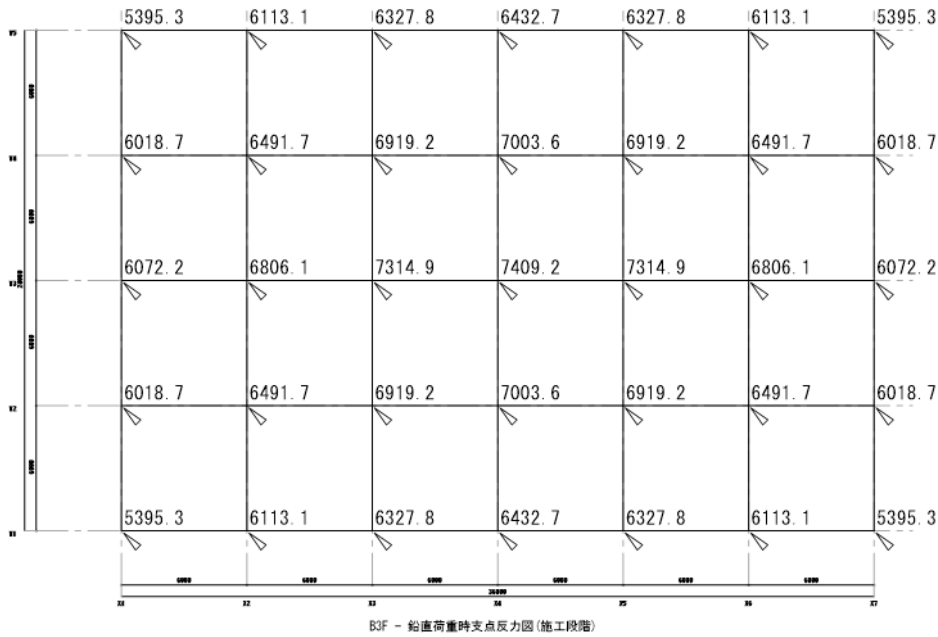
同時に、地上階もステージごとに上に積み上げていきます。



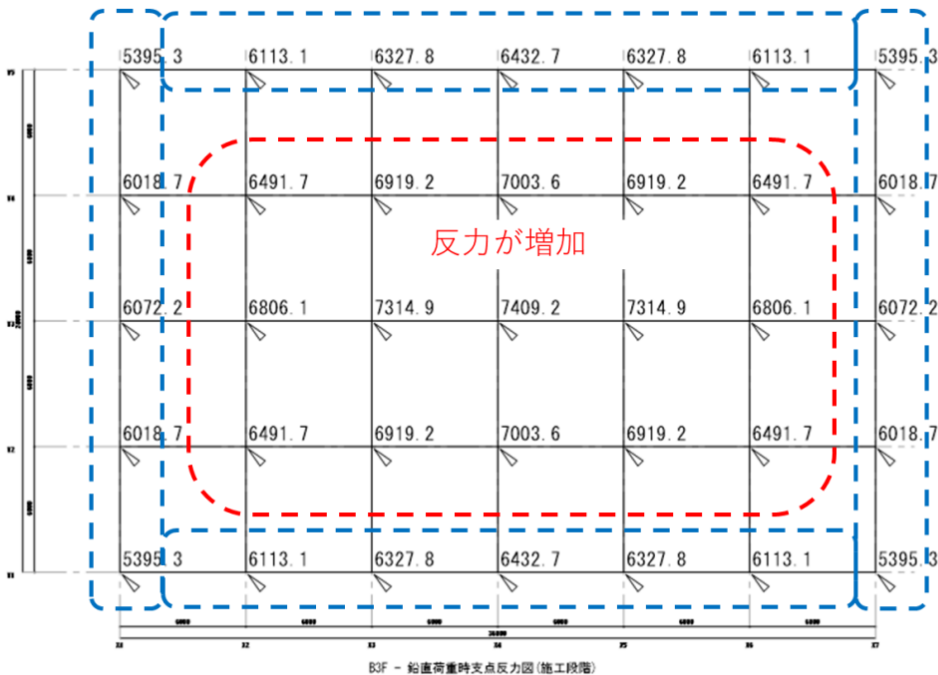
段階施工の解析モデルのイメージ図

解析結果の支点反力図を比較してみます。このようなシンプルなモデルでも 5%程度の乖離が生じます。傾向としては、外周部の反力は施工段階解析のほうが小さく、中央部は増加しています。施工の序盤ステージでは構真柱により鉛直荷重を負担しますが、最初の時点では大梁が施工されていないため、通常解析では大梁によってある程度均一化されるはずの柱軸変形のばらつきが大きくなっているためと考えられます。実際の建物ではより施工手順が複雑ですので、場合によってはより大きな差が生じることもありえます。





反力が減少



反力が増加

通常解析と施工段階解析の支点反力結果

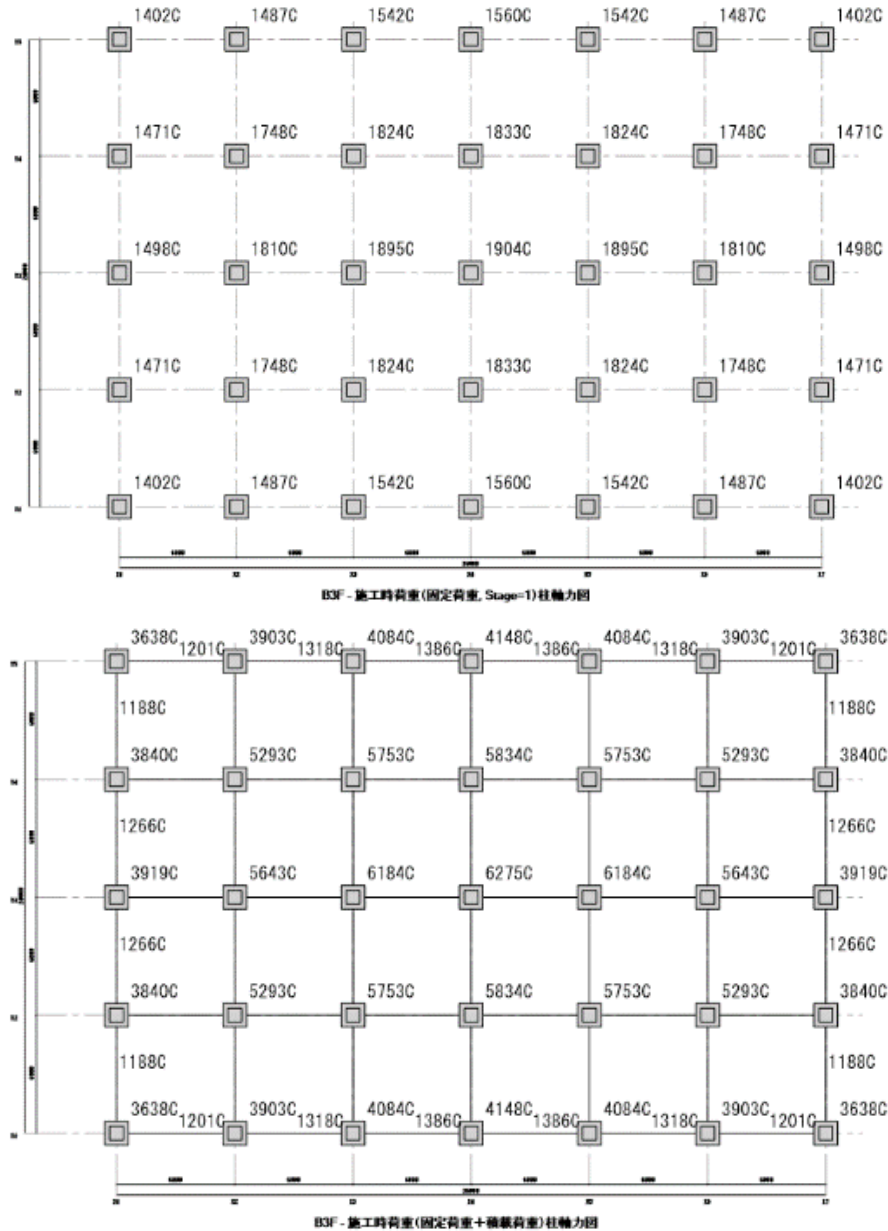
また、施工段階解析を行うと、構真柱に作用する軸力を求めることもできます。構真柱の状態では鉄骨部材のみ状態で上部構造軸力を支える必要があるため、完成した SRC 柱で軸力を受ける場合とは違った判断が求められます。

以下に、最下階が構造真柱のみのステージにおける柱軸力と完成時の柱軸力を示します。完成時は柱の間に耐震壁の軸力も表示されています。

外周の柱軸力を見てみると、構真柱のみのステージでも完成時に対して 40%程度もの軸力を負担して

いるような結果となっています。完成時には耐震壁が軸力を負担してくれますが、耐震壁施工前の状態では柱ですべて重量を支えなければならず、しかもこれを鉄骨断面のみで支えることになります。

このように、施工時の安全性を考えるとこのように実際の施工時に近い状態を想定して地下階柱の鉄骨断面を決定することが必要になります。

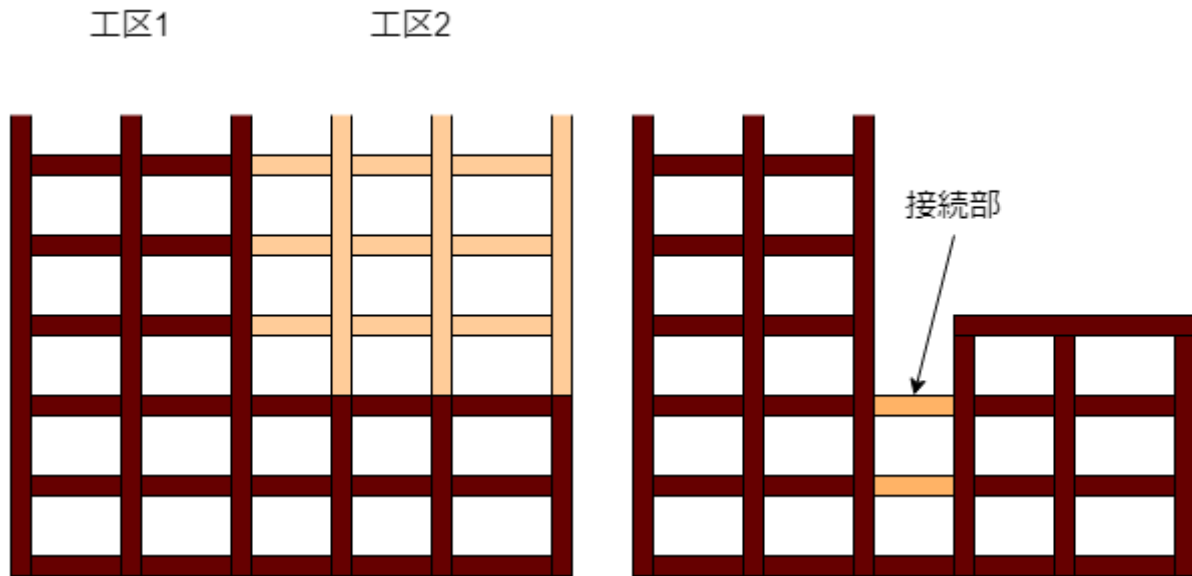


施工時と完成時の柱軸力

●その他施工時検討

施工段階解析で求められるのは、逆打ち工法のみではありません。

工区ごとの施工や、低層棟と高層棟の接続箇所の検討など現場に応じて考えるべきことは様々です。こういった検討が、建物全体のモデルとして上部構造の検討と連続性のあるモデルにより、より現実に近い仮定の応力状態を検証できることが RESP を用いた施工時検討のメリットであると考えています。



施工段階解析のイメージ図

●まとめ

RESP では、上部構造の設計モデルをそのまま利用して施工段階解析が行えます。それにより、従来の設計で用いる解析モデルと整合した検討をスムーズに行えます。

なお、RESP シリーズのうち時刻歴応答解析向け統合構造計算システム RESP-D では、現状のリリースバージョンにおいては施工段階解析については簡易な検討機能（下層から 1 層ずつ部材生成、荷重載荷）のみの公開となっています。3 次元フレーム汎用解析プログラム RESP-F3T では、より詳細な設定まで行うことが可能ですが、やや入力が煩雑となります。

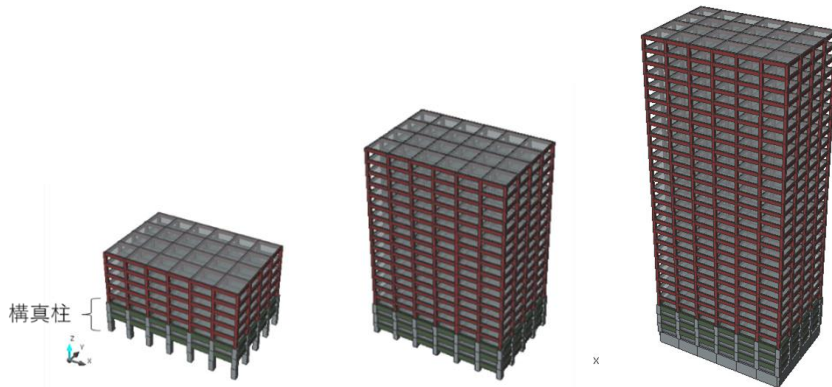
今回のような詳細な検討は解析コンサルティングサービスとしてお手伝いさせていただくことが可能です。構造のさらなる合理化や、施工計画でお悩みの方はぜひご相談ください。

超高層建物の施工段階解析 コンサルティング・サービス

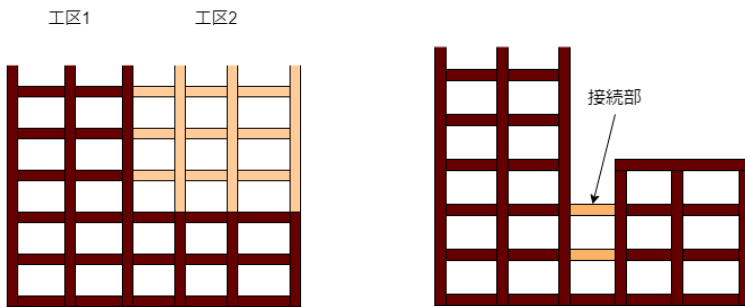
超高層建築物の高層化が進んでいます。

高層になると工期も長くなることから、建物完成時の状態を想定した設計時の応力と、少しずつ部材が組み立てられる施工時の応力に乖離が生じ、場合によっては数量増大につながります。裏を返せば、設計時に施工段階の応力を把握することは経済性の追求に極めて有効です。

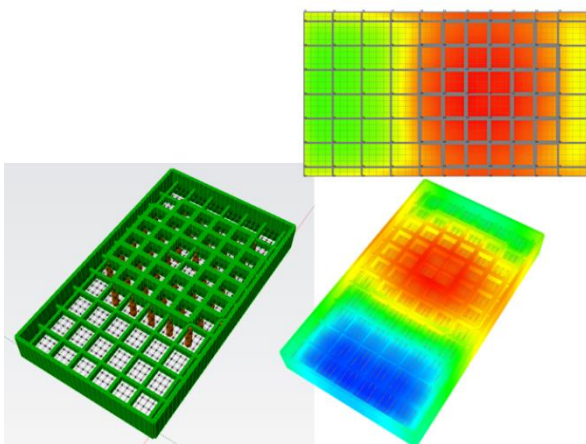
構造計画研究所では自社開発ソフトRESPを用いて、施工段階解析のコンサルティングサービスを行っています。



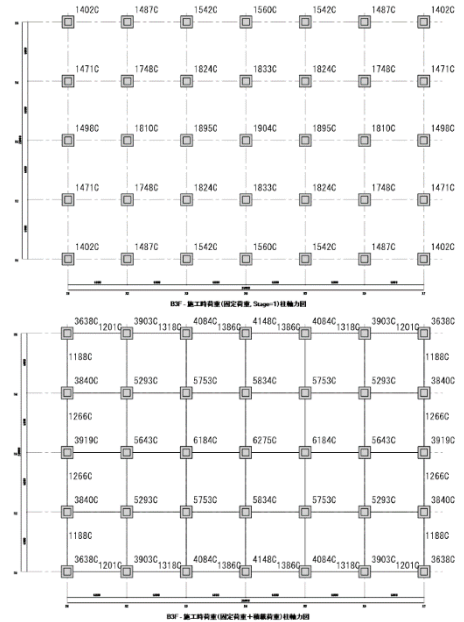
超高層建物の逆打ち工法



異なる工区を考慮した検討



パイルド・ラフト形式基礎に
対する沈下の検討



施工ステージごとの軸力図

施工段階解析 コンサルティング・サービスの 4つのメリット

- 上部構造の設計で実績豊富なRESP-Dなら、設計時と連続性のある結果が得られ、施工時応力による断面検定もスムーズです。
- 自社開発ソフトを使うため、従来のソフトにはない機能でも必要に応じて機能追加します。
- 他社一貫構造計算プログラムを利用している場合でも、ST-Bridgeを利用して効率的にモデルが作成できます。
- 沈下の検討では、薄層要素法によって求めた連成地盤ばねを用いることで3次元FEMに相当する精度の検討が短期間に可能です。



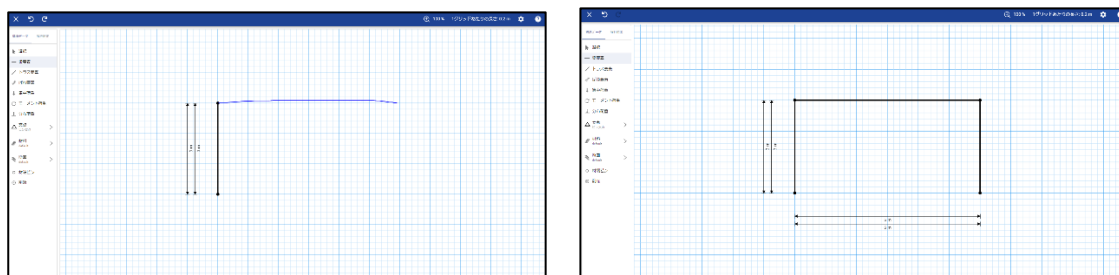
構造解析デジタルノート MystructureNote のご紹介

お手元の電卓をたたいて計算を行うように、iPad などのタブレット上で絵を描くだけで構造検討ができるツール「MystructureNote」をご紹介します。

主な機能を以下に示します。

●絵を描くように構造解析データを作成できます

パソコンやタブレットにて、マウスやペンなどで線を描くことで、フレームの構造モデルを作成できます。その構造モデルに対して、支点条件や荷重条件を追加することで、構造解析を行います。部材の材料や断面性能は適宜指定できます（直接入力／選択）。荷重は、集中荷重や分布荷重を載荷でき、載荷方向も自由に指定できます。

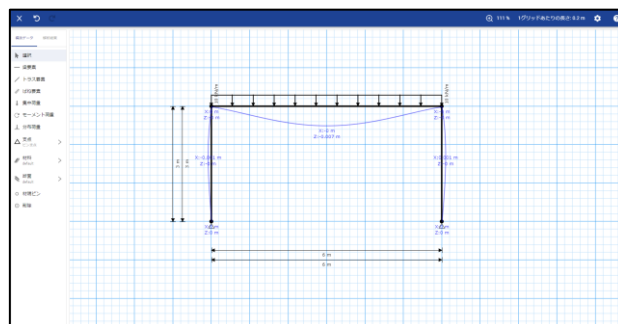


(左：ペンで描く様子、右：モデルが作られた様子)

●リアルタイムに計算します

絵を描くように部材を追加したり、支持条件や荷重条件を変更したりすると、その瞬間に構造解析を行い、解析結果を表示します。

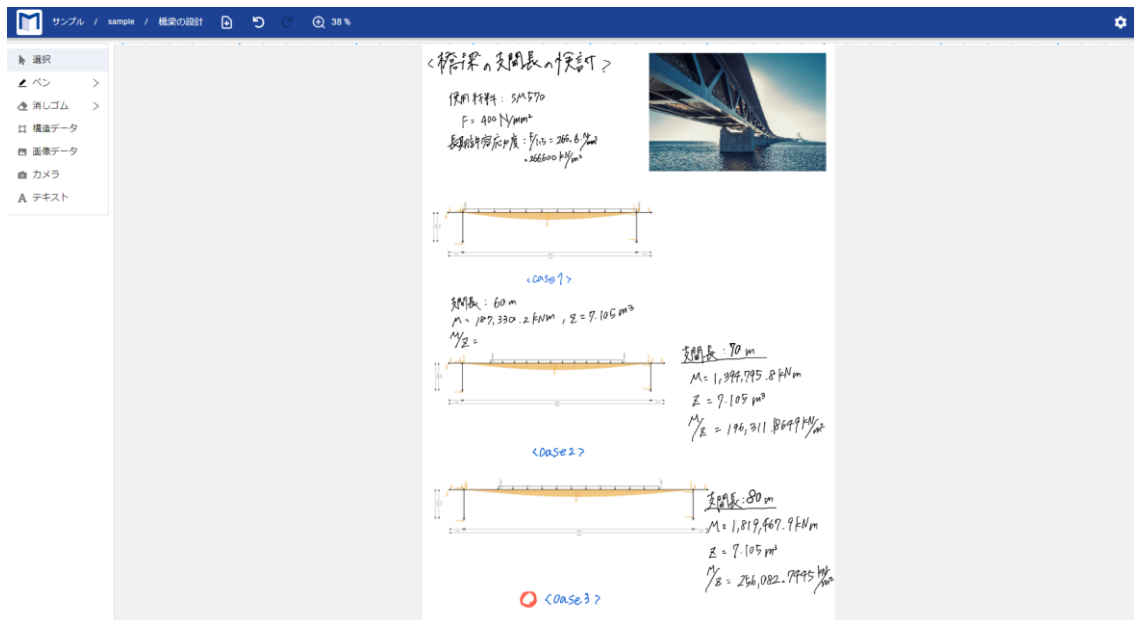
解析結果として、変形図や断面力図（軸力／せん断力／曲げモーメント）を表示します。条件（構造、荷重、支持）等を変更すると瞬時に結果が表示されるため、条件変更による影響が明確に理解できます。



(変形をリアルタイムに可視化)

●比較結果が簡単に作成できます

解析モデルをコピーして並べて表示することも可能です。条件を変更した結果を並べて表示することで、結果の比較が容易になります。また、文字の入力や写真の挿入も可能です。解析結果に対して考察などを追記することで、簡単に資料を作成することができます。



(支間長をパラメータとした構造スタディ)

●基本的なライブラリは準備してあります

基本的な材料や断面性能は、ライブラリとして準備されています。構造モデルの形状を描いた後で、断面性能等をライブラリから選択して指定ができます。数値入力による直接指定も可能です。

●Web環境があればどこでも利用できます

MystructureNoteはWebアプリであるため、Webに接続出来る環境でブラウザが使えるれば、どこでも利用が可能です。使用機器へのインストールは不要です。データもクラウドに保管されているため、いつでもアクセスが可能です。

このように、MystructureNoteは簡単に構造解析が可能であり、構造検討プロセスをノートに書くように保管し、利用できる便利なツールです。

様々な用途で利用できると思いますが、いくつかの利用例を示します。

【基本計画時の構造スタディ】

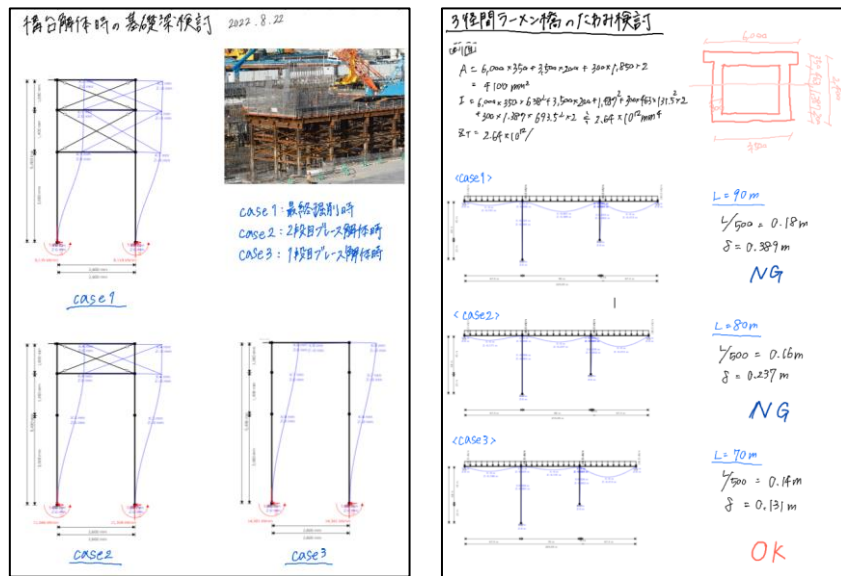
比較検討が容易であるため、基本計画時の構造スタディに役立ちます。もちろん、基本計画時以外にも、ちょっとした構造検討を行いたいときにサクッとご利用いただけます。またリアルタイムな可視化により、会議や打合せの場でのコミュニケーションを円滑化します。

【現場対応】

現場において変更が生じて構造的検討が求められるなど、即断即決が求められるシーンにおいても有効に活用できます。手計算よりも精緻に、また検討を持ち帰らずその場で検討して迅速に意思決定を行うことで、工事を安全かつ円滑に進めることができます。

【教育的利用】

試行錯誤が容易であるため、自主学習や社内勉強会にも活用できます。また、ノートの中で解析結果も検討プロセスもまとめて記録されるため、MystructureNote で検討すればするほど、社内に知見が蓄積されます。



(作成したノートの例)

MystructureNote は無償での試用も準備しています。ご興味ございましたら下記担当までご連絡ください。

e-mail : mystructure-dev@kke.co.jp

Web アプリ
Cloud 対応

絵を描くように どこでも 構造計算

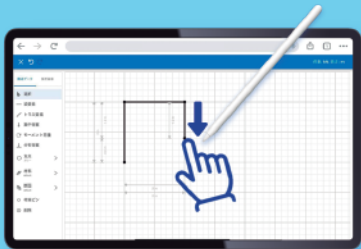
簡単

快適

便利

1

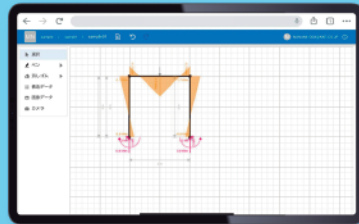
スケッチライクにモデル作成



モデル作成はフリーハンドで行いますので、直感的な操作が可能となります。Web アプリなので、PCはもちろんタブレットでもご利用いただけます。

2

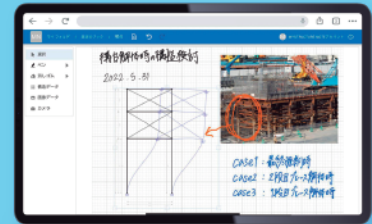
リアルタイム解析



モデルを描くとすぐに結果が表示されます。また節点の移動などモデル変更時にもリアルタイムに結果を可視化出来るので、迅速なスタディに役立ちます。

3

資料・参考書に



構造データと併せて検討プロセスをメモとして記録できるので、現場変更時のエビデンス資料や学習ノートとして活用できます。

利用シーン



即断
即決

スキル
向上

- ✓ 現場で部材断面を決定したい
- ✓ 建築家との打ち合わせの場で仮定断面を提示したい
- ✓ 概算設計で仮定断面をササッと決めたい

- ✓ 工事現場で変更が起きた際、速く正確に判断したい
- ✓ 仮設・設備の設計書の妥当性を確認したい
- ✓ 定期的に工事の安全点検を行いたい

- ✓ 力学のイメージを教えたい
- ✓ 手計算結果が合っているか確認したい
- ✓ 視覚的・感覚的に構造を捉えたい

土木(水道施設)向けの地震動作成について

弊社は、建築構造物や電力施設等の重要構造物の設計において、地震動評価を長年にわたり多数経験しており、ノウハウの蓄積がございます。

最近は様々な分野で動的解析が推奨されており、最近では2022年6月に改訂されました水道施設耐震工法指針についても、より動的解析での検討が求められるような記述になっています。

このような中で、弊社の現業部門や営業部門の担当者が土木系の設計用入力地震動について、座談会形式で意見を述べています。

- ・倉掛 猛 (西日本営業部 営業担当部長)
- ・高浜 勉 (防災ソリューション部 部長)
- ・山口 裕美子 (エンジニアリング営業2部 防災コンサルティング室)



倉掛：最近大阪では、水道施設の設計で地盤の一次元地震応答解析の依頼が増えているけど東京はどうですか？

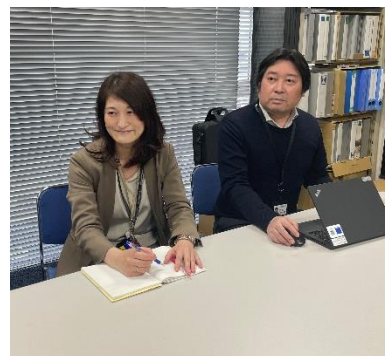
山口：東京でもかなり多くなっていますよ！

倉掛：昨年の6月、公益社団法人 日本水道協会より「水道施設耐震工法指針・解説 2022年版」が発刊されましたね。この指針は、1997年版、2009年版につづく改訂で、先の改訂からこれまでの地震被害に基づく知見が盛り込まれています。

倉掛：今回の改訂では、設計事例も充実した内容となっており、水道管等の耐震計算においては、従来の速度応答スペクトルを用いた地盤ひずみの計算だけではなく、地盤の一次元地震応答解析を用いた算定例も記載されています。

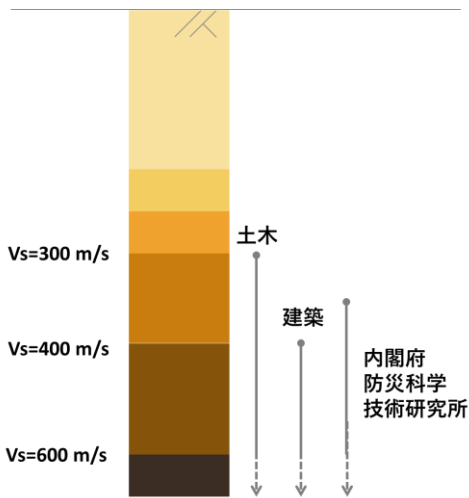
高浜：水道施設の設計では十分な深さまでのボーリング調査が少なく、地震応答解析のための地盤モデルの設定が難しい場合もあるね。

山口：地震応答解析を行うのであれば、それなりの調査を行っているのではないのでしょうか？



高浜：支持層までの調査であることが多いですが、地盤の地震応答解析に必要なのは工学的基盤ですね。工学的基盤は一般的にせん断波速度が300~700m/s程度の、十分な層厚を有する地層に設定されますので、支持層より深い地層までの情報が必要となる場合も多いですね。

山口：工学的基盤と言ってもかなりばらつきが大きいですね。



高浜：土木だと Vs300m/s 以上・N 値 50 以上ですが、建築だと Vs400m/s 以上で、一般に N 値 50 以上の地層よりも硬い地層とされる場合が多いですね。

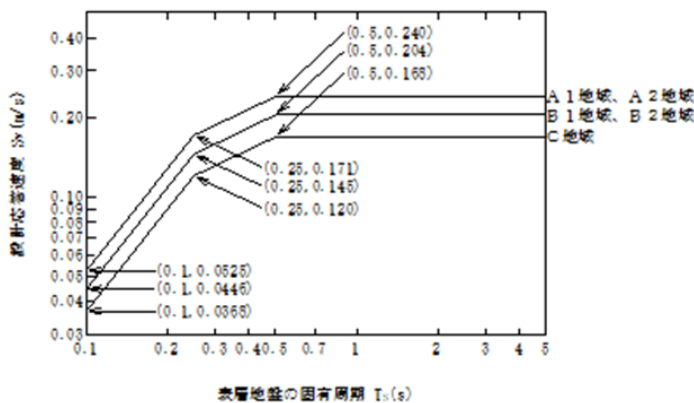
山口：地盤の設定は分野によって異なるようですが、地震動も同様でしょうか？

高浜：そうですね。土木では、道路橋、ダム、港湾など分野ごとに指針があり、設計に用いる地震動に関する記述がありますが、選定方法・作成方法・地震動の定義地盤を地表とするか工学的基盤などとするかは対象や分野によって様々ですね。

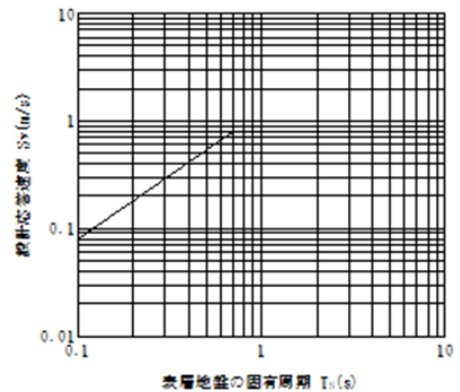
高浜：その他、工学的基盤上の地震動として内閣府による南海トラフの想定地震や地震調査研究推進本部で長期評価が行われている震源断層による想定地震などの公開データもあります。ただし、公開データの工学的基盤の条件は評価機関や評価地点によって必ずしも同じでは無いので、利用の際には注意が必要ですね。

山口：水道施設の設計ではどのように考慮しているんですか？

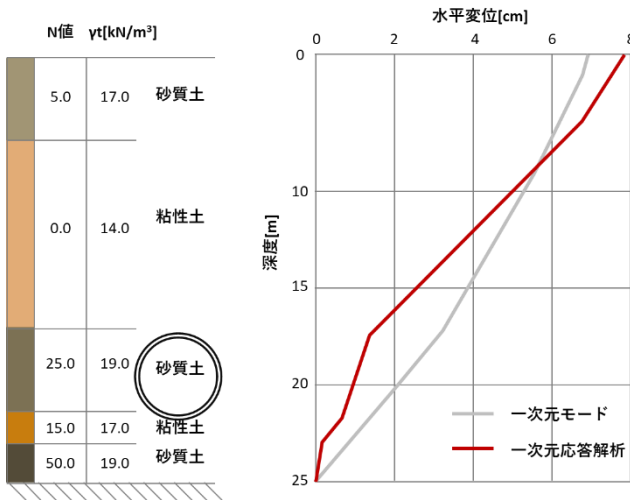
倉掛：水道施設の設計では地表面の速度スペクトルを設定しています。そこから基盤までの変位分布を三角関数で設定しているね。最近の設計事例を見ると、1 種地盤の速度スペクトルに道路橋の波の位相を用いて模擬波形を作成し、工学的基盤に入力しています。



レベル 1 地震動



レベル 2 地震動



倉掛：一次元の地震応答解析で評価した変位は、地震時の挙動に即した変位なので設計には向いていると思います。評価地点に則した設計になると思うよ。

山口：水道施設耐震工法指針 2022 年ではどのように書かれているんですか？

高浜：地震動の設定方法が以下のように規定されています。

設定方法		動的解析に用いる設計地震動	静的非線形解析に用いる設計地震動 (ブッシュオーバー等)
方法 1	震源断層を想定した地震動評価を行い、当該地点での地震動を使用する	地震動評価結果の地表面、工学的基盤面の加速度時刻歴波形、あるいは応答スペクトルを用いる	地震動評価結果の地表面、工学的基盤面の応答スペクトルを用いる
方法 2	地域防災計画等の想定地震動を使用する	想定地震動の地表面、工学的基盤面の加速度時刻歴波形を用いる	想定地震動の地表面、工学的基盤面の応答スペクトルを用いる
方法 3	当該地点と同様な地盤条件 (地盤種別) の地表面における強震記録の中で、震度 6 強～震度 7 の記録を用いる	強震記録の加速度時刻歴波形を用いる	強震記録の応答スペクトルを用いる
方法 4	兵庫県南部地震の観測記録を基に設定された設計震度、設計応答スペクトル		「2009年版指針 総論解説編III」の設計応答スペクトル等を用いて設定する

山口：震源断層を想定した地震動や地域防災計画等の想定地震動とありますね。

倉掛：大阪府では地震被害想定を基に大阪府標準地震動というのを決めていて、官庁施設はこの地震を想定した設計となっているよ。

山口：へー、関西ローカルルールなんですね。

高浜：参考文献に公開されている地震動を載せています。参考にしてください。構造計画研究所では方法 1 に相当する震源断層を想定した地震動の評価も実施できます。

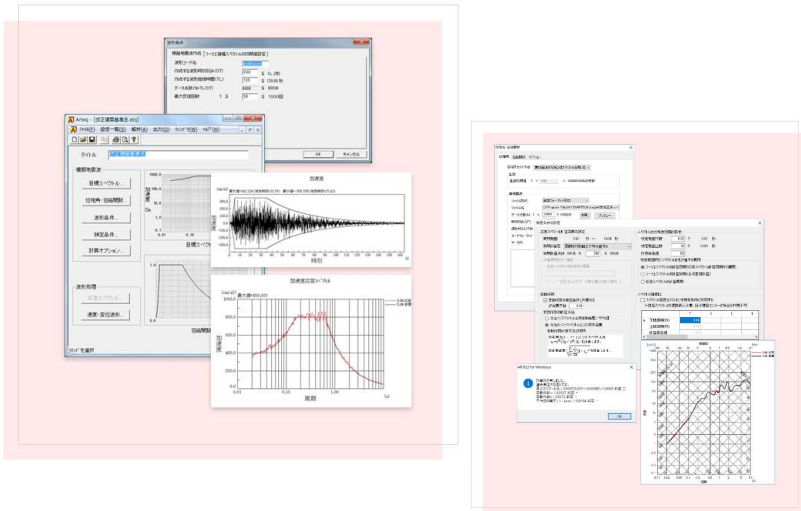
【参考文献】

- 公益社団法人日本水道協会(2022)：水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版
- 内閣府：南海トラフ巨大地震, <https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>
- 国立研究開発法人防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会(2020)：大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針 2020 2 版

模擬地震波作成プログラム

ARTEQ for Windows

- POINT1** 目標スペクトルに適合する 模擬地震波を作成
- POINT2** 模擬地震波の位相を 実地震記録等により設定
- POINT3** k-SHAKE+等他システムの 入力地震波として使用可能



目標スペクトル設定

- 告示第 1461 号に基づく加速度スペクトル
- 告示第 1461 号×上下動成分係数*1、*2
- 設計用入力地震動作成手法技術指針*1に基づく 設計用スペクトル
- 道路橋示方書(H24)に基づく設計用スペクトル
- 大崎スペクトル (原子力用*3、土木・建築用*4)
- 耐専スペクトル (水平 (NFRD 効果、内陸地殻内地震補正)・上下) *5
- 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針 (案) に基づく 照査用下限加速度応答スペクトル (水平地震動・鉛直地震動) *6
- 任意の目標スペクトル (加速度・速度)
 - *1 設計用入力地震動作成手法技術指針 (案) 日本建築センター
 - *2 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計 (日本建築学会)
 - *3 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (日本電気協会)
 - *4 新・地震動のスペクトル解析入門 (大崎順彦著、鹿島出版会)
 - *5 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008 (日本電気協会)
 - *6 大規模地震に対するダムの耐震性能照査について (国土交通省)

位相スペクトル指定機能

- 乱数位相
- 実地震記録の位相、実地震記録読み込み設定確認機能

包絡関数設定

- 設計用入力地震動作成手法技術指針による 包絡関数 (レベル1・レベル2)
- Jennings 型の包絡関数
- 耐専スペクトルの包絡関数
- 任意の包絡線を定義することも可能

適合の判定条件

- スペクトル比
- 変動係数 (スペクトル比の標準偏差÷平均値 または (1-スペクトル比)の標準偏差のうちいずれか)
- スペクトルインテンシティの比 (S.I.比)

解析機能

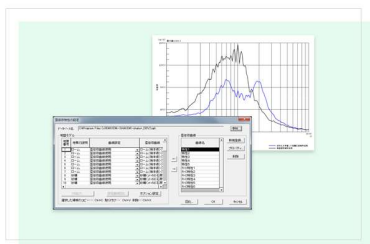
成層地盤(一次元地盤)での地震応答解析を行います。
解析手法は、SHAKEと直接積分法(※)の2種類をサポートしています。
※非線形解析オプションのみ。

1.基本機能

- 地盤の非線形性を考慮した重複反射理論による等価線形解析
- 従来型・改良型の複素剛性を選択可能
- ひずみ依存特性をデータベースとして管理
 - 土木研究所の式
 - 港湾の施設の技術上の基準・同解説の式
 - 建築学会文献の特性(建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計、2006)
 - ユーザ設定
- 道路橋示方書・同解説に準拠した簡易液化判定機能
- ベータ低減による液化化を考慮した地震応答解析

2.非線形解析オプション

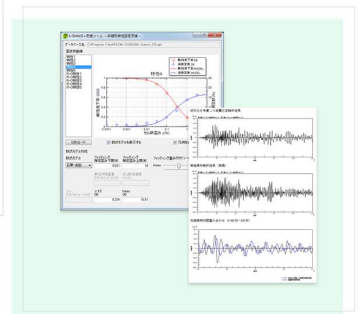
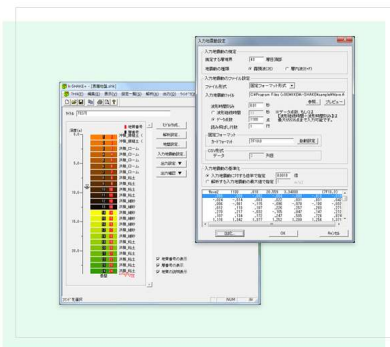
- 直接積分法(線形加速度法または平均加速度法を利用)による時刻歴非線形解析
- 復元力特性
 - 修正 R-O モデル
 - H-D (双曲線) モデル
 - 骨格曲線と履歴曲線を別々に設定する方法 (石原・吉田の方法)
- ひずみ依存曲線から非線形特性パラメータを自動計算
- レイリー減衰により粘性減衰を指定可能



出力項目

出力図は文書ファイルへの貼り付け(クリップボード機能)が可能です。
また、各解析結果をCSV 形式・固定フォーマット形式で出力(エクスポート機能)することも可能です。

- 最大応答分布図(加速度、相対変位、せん断応力、せん断ひずみ等)
 - 時刻歴波形図(加速度、相対変位、せん断応力、せん断ひずみ等)
 - 応答スペクトル図、加速度伝達関数図、ひずみ依存特性図、FL 値表
 - 履歴曲線図 (せん断応力-せん断ひずみ関係)、フーリエスペクトル比図
- ※履歴曲線図とフーリエスペクトル比図は非線形解析オプションにのみ対応



成層地盤地震応答解析プログラム

k-SHAKE+ for Windows

- POINT1** ボーリング調査等を基に 建物入力位置(床付)の地震波を作成
- POINT2** 各種計算手法により 各層での地震応答解析に 幅広く対応

地震動の評価、 お悩みのことは ありませんか？

地盤の条件？

想定する地震？

構造物の
固有周期？

告示波やサイト波など
大臣認定取得のための
設計用入力地震動が必要

実施設計を進める中で、
入力地震動の
修正・見直しを行いたい

地盤調査前の
企画段階であるが、
構造形式を決めるための
初期検討用の地震動が欲しい

構造設計者

評定委員会において
地震動に関する
質疑対応に不安がある

構造計画研究所

構造設計者

地震動を
専門とする
技術者

豊富な実績をもとにお客様のニーズに合わせた
柔軟な対応をお約束します

強み1

豊富な実績

一般建築から重要インフラ
施設を対象に
過去15年間で400件以上

強み2

柔軟な対応

初期検討用～高層評定対応
の地震動まで**目的に合わせ**
た地震動を提供

強み3

充実のアフターサービス

設計変更に伴う軽微な地
震動の修正や評定での質
疑対応について**原則無償**
対応

様々なお悩みにお応えします

建設地が断層に
近い場所
あるけれど・・・

どのような地盤調査を
行えばよい？

地震動の作成手法は
色々あるけれど
どう使い分けるの？

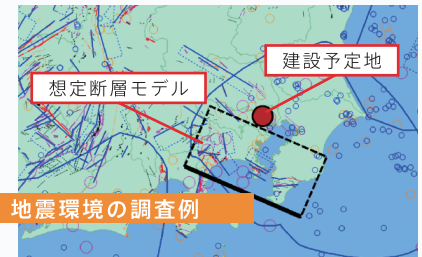
地震動評価結果の
妥当性はどう確認するの？

液状化が
心配されるけれど
どうすればよい？

解析用ソフトウェア
を導入したい

情報収集と設定

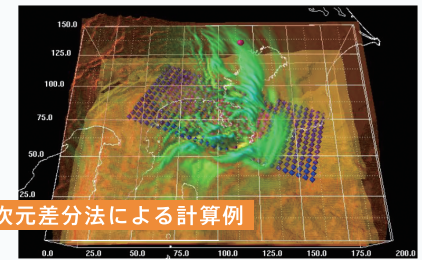
- ・地震環境の調査
- ・断層パラメータ
- ・地盤モデル



模擬地震動の作成

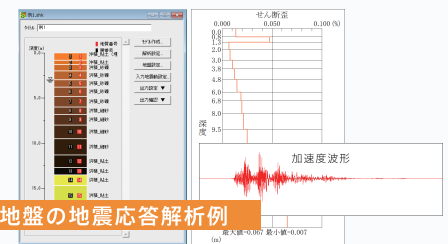
- ・告示波
- ・サイト波
- ・長周期地震動

翠川・小林手法、統計的グリーン関数法、
波数積分法、3次元差分法、ハイブリッド合成法など



地盤の地震応答解析

- ・等価線形解析
- ・時刻歴非線形解析
- ・液状化を考慮した解析



評定委員会対応のサポート

- ・資料の作成
- ・委員会への同席

地震環境の調査から地震動の作成、 性能評価の対応までをトータルサポート

地震動・地盤評価の豊富な経験と技術で建物の安全性向上をサポートいたします

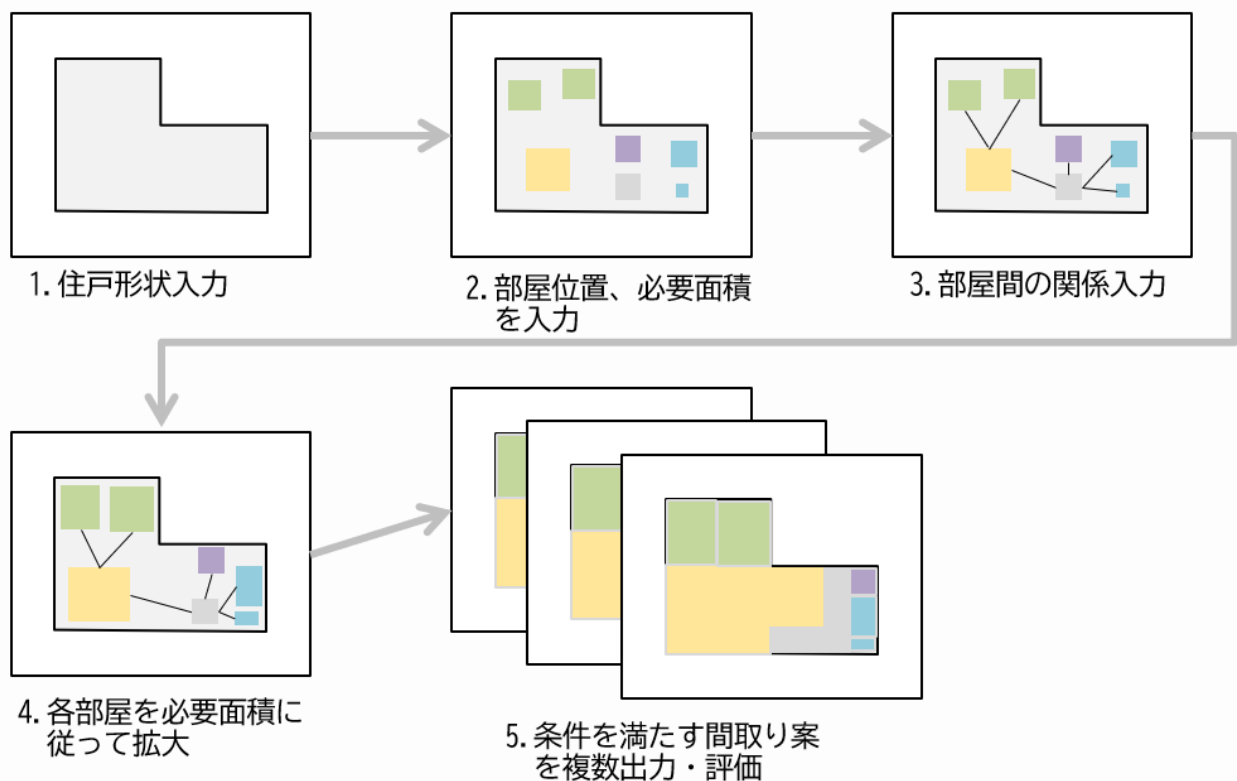
自社開発のプログラムを駆使することで、高度かつ先進的な取り組みにも対応いたします

建造物の動的解析や設計業務全般についても対応しております

貴社の目的や予算に応じて、検討方針や評価手法を柔軟にご提案し、ご要望にお応えします

○間取り検討支援

ビル、マンション、住宅などを建てる際の初期段階では、フロアの区画割や各住戸の間取りが検討される工程があります。ここでは、「施主さんから要望を伺う⇒一度持ち帰って間取り案を検討・作成⇒再度その案に要望をもらい再検討⇒・・・」といった形で、要望を受け取っての検討・再作成のキャッチボールが何回も行われます。営業担当者では、その場で要望に対する実現性可能性の判断が難しく、一度持ち帰って設計書を手直した上で、設計者の判断を仰ぐ必要があります。この工程の長期化が各社の悩みの種となっています。この工程を素早く終わらせることができれば、本格的な設計へ移るまでのリードタイムを短縮することができ、工期の短縮および設計者の負荷軽減に寄与することができます。副次的な効果として、迅速な検討による競争力の強化、余裕の出来た時間を詳細設計に充てることでプラン品質の向上なども期待できます。KKEではOR技術を活用した「間取り検討支援ソリューション」を提供し、これらの課題の解決に貢献しています。このソリューションは、「部屋の大まかな位置」「部屋の必要面積」「部屋間の関係」などの情報をインプットすることで、条件を満たした間取り案を複数アウトプットします。活用のイメージとしては、打合せで施主さんから伺った要望を条件に反映して、間取り案をその場で検討して円滑にコミュニケーションを進めることができます。



●事例：土配計画の最適化

○概要

大規模な工事においては、複数の現場間で切土（斜面を削って土を出す）と盛土（土を盛って斜面を平にする）が行われます。この切土と盛土のマッチングを上手く調整し、可能な限り無駄な移動を抑える方法を考えることを土量配分計画（土配計画）と呼びます。本事例では、土配計画にORの技術を適用することで、輸送コストが最小になる土配計画を自動立案できるツールを開発しましたので、その効

果について紹介致します。

大規模な道路工事においては、長期間にわたって様々な現場で切土と盛土が繰り返されるため、切土と盛土の最適な組み合わせを見つけることで大幅な予算削減と工期短縮が可能になります。また、働き方改革関連法の適用が猶予されていたトラックドライバーについても、2024年に時間外労働の上限が適用されることになっており、ドライバーの確保や効率的な輸配送の実現が喫緊の課題となっています。

そこでKKEでは、切土・盛土の移動コストを最小にする土配計画を自動立案するツールを開発しました。本ツールを使用することにより、高速道路工事のような大規模な工事においても、短時間で自動的に土配計画を策定することが可能となり、土配計画の担当者の負荷を大幅に削減することが可能になりました。また、条件を変えた様々なシナリオ検討を簡単に行うことができようになり、建設工事のリスク分析等に時間を割くことができるようになりました。さらに、工事途中においても工程遅延などの進捗実績を反映して計画を再検討することも容易となり、現場の工程破綻への対応やリソース調整を素早く行い、工事のムリ・ムダを最小限に抑えることができるようになりました。

○土配計画における課題

【土配計画策定に掛かる時間および労力】

土配計画の検討には現場ごとの工事時期、切土・盛土の量、利用可能なトラックの台数、仮置き場の場所・容量等の様々な事項を考慮する必要があります。更には、工事の進捗に伴って仮置き場の場所が移動したり、道路が通行可能になることで移動のコストが大きく変化することもあるなど、時間変化による環境変化も考慮する必要があります。そのため、工事の規模が大規模になるほど土配計算に必要な計算の量と時間は指数関数的に増加してしまい、大規模な現場では、1回の土配計画に数日～数週間という工数を要することもあります。

【土砂運搬事業の様々なリスクの埋没】

土工事で発生する多量の土砂処理には事業遂行上のリスクがあります。リスクの具体例として土砂の需給時期のずれによる仮置き場の混雑、運搬距離の遠隔化による道路状況の複雑化、大型車運搬による騒音振動などの社会問題や受入地周辺住民からの苦情など様々なものが考えられます。その他、工事が遅延した場合などは計画全体が破綻し、様々な想定外の問題が生じるリスクもあります。そのため、リスクを計画時に把握することは非常に重要な作業となります。しかしながら、計画策定に多大な時間と労働コストを要するため、リスク要因の調査に余裕を持って臨めず、結果としてリスク分析が不十分になるという課題があります。

○解決方法：(配送コスト最小の)土配計画自動作成ツールの開発

複雑な条件を伴う運搬計画の作成に対して、OR技術を適用することにより最適な土砂運搬計画を求めるツールを開発しました。本ツールでは、どの時期にどこからどこへ土砂を運搬した方が良いか、各道路の運搬車の通行台数は適切かなどその他様々な条件を考慮します。

本ツールを用いることで計算条件にて指定した各現場の切土・盛土量を満足し、輸送コストを削減した効率的な土配計画を短時間で提案することができます。また、担当者がツールにより得られた土配計画を確認し、事業遂行上のリスクがあれば計算条件を見直し再計算することで、リスクを加味した土配計画を作成することができます。

○成果：土配計画ツールの効果

【土配計画の生産性及び品質の向上】

開発したツールを用いることで土配計画策定に掛かる時間と労力を大幅に削減することができました。また、最適化技術を用いるため、大規模な現場に対しては特に高い省力化と輸送コスト削減効果を発揮することがわかりました。

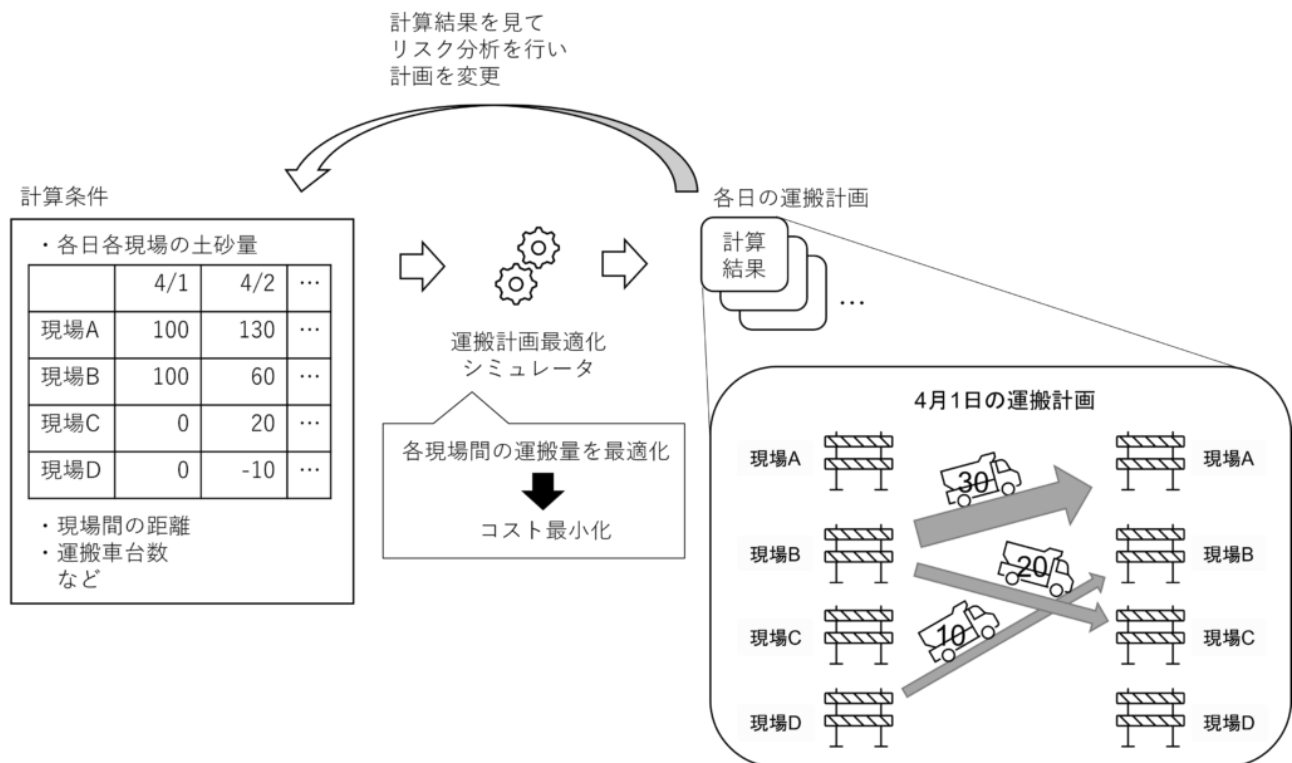
【土工の実態把握と事業遂行上のリスク要因の抽出】

土配計画を短時間で自動作成できるため、複数シナリオを想定した幅広い検討も可能となり、土砂処理に伴うリスクの所在の早期発見と対応策の検討が容易となりました。また、工事の遅れなどにより計画がずれた際の計画見直しも簡単にできるようになり、工事全体のムリ・ムダの削減、そしてリスクの低減に貢献しました。

○今後の展望

【階層構造を持つ土配計画への展開】

上記事例では複数の現場間での土配計画について取り上げましたが、高速道路の建築のような複数年にわたる大規模な建設工事においては、一度の計画で全ての現場の詳細な計画を立てることは難しく、年単位かつ粗い工区単位の大日程計画、数ヶ月単位の中日程計画、週次から日次単位の小日程計画と段階的に詳細な計画を練り上げていく方法が一般的です。そこで、本ツールを大日程・中日程・小日程計画のいずれにも不整合なく適用できるように拡張し、単純なツールではなく、大規模な建築現場の計画の中心に位置付けられるツールに発展させることを目指して参ります。



AI による構造モニタリング

畳み込みニューラルネットワークによる建物の応答加速度時刻歴データの分類

構造計画研究所 建築構造工学部 Khorajia Danish

キーワード： 構造モニタリング 人工知能 (AI)

畳み込みニューラルネットワーク (CNN)

1. はじめに

人工知能 (AI)、それは時代の最も魅力的な言葉であり、分野横断的にその応用は飛躍的に拡大しています。携帯電話の音声認識ソフトや車のナビなど、私たちの身の回りのあらゆるところに AI が存在しています。Google も検索エンジンに AI を利用しています。Netflix や amazon プライムの映画提案は、AI がベースになっています。Siri や Alexa、Google アシスタントとの対話も、AI の一種です。

2. AI とは何か？

1940～1950 年代に登場して以来、さまざまな用語や定義で呼ばれてきましたが、簡単に言えば、AI はコンピュータサイエンスの一分野であり、従来は人間の知性を必要としたことをコンピュータで行うことです。

AI は半世紀以上前から存在していましたが、データ量の増加、アルゴリズムの進化、コンピューティングパワー&ストレージの向上により、最近になって様々な産業で応用されるようになりました。

3. AI による構造ヘルスマモニタリング

構造工学分野での AI の応用としては、構造ヘルスマモニタリング (SHM) が最も多く見られます。センサーなどのデータ取得システムの進歩により、構造物の正確な診断に必要なデータを取得することが可能になりました。一方、AI はデータのパターンを学習し、与えられた入力に対する出力を予測する能力を備えています。以上のような経緯を見ると、データ収集システムで取得したデータを AI 技術で学習し、構造物の安全性を判断してはどうか、と考えたくなります。

そこで、構造計画研究所の RESP チームは、社内で検討を行い、建物の損傷有無を判断できるモデルを開発しました。本記事では、その概要を簡単に紹介します。

【背景説明】

通常のシステムでは、地表と建物内に少なくとも 1 台以上設置した加速度計の測定値から、既存構造物の応答 (層間変位、層間変形角など) を算出し、建物の損傷レベルを推定する方法がよく行われています。

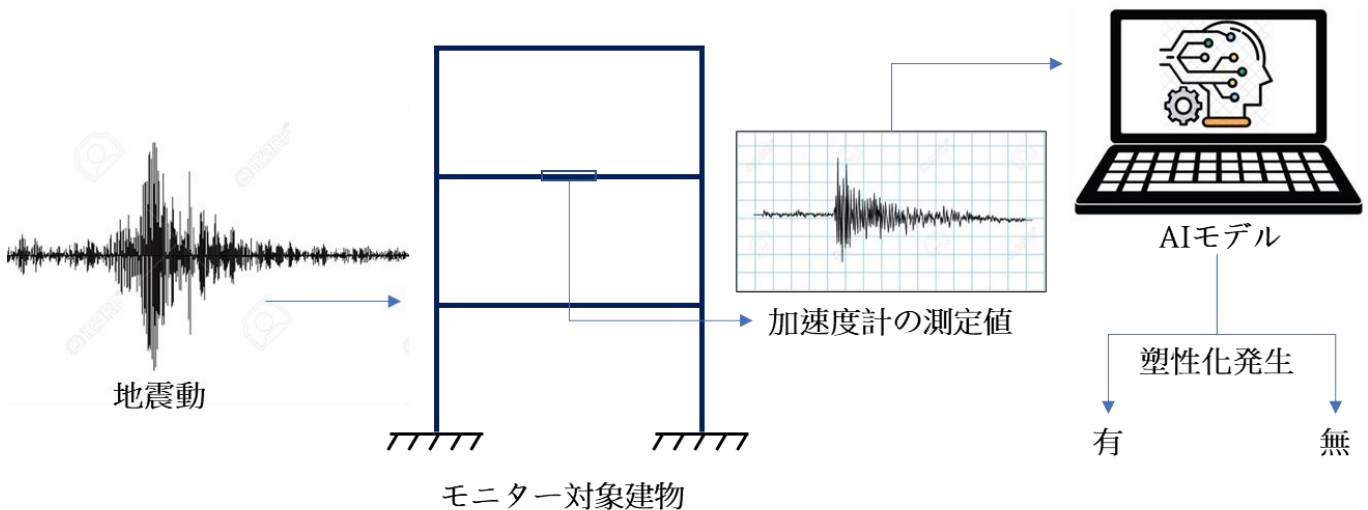


図1 システム概要

本検討では、応答加速度時刻歴から直接建物の損傷有無を予備的に判断できる AI モデルの開発に焦点を当てました。これにより、加速度計から取得したデータの処理に要する時間を短縮することができます。また、地表に加速度計を設置する必要がなくなります。提案システムの概要を図 1 に示します。

【機械学習における時系列データの扱い方】

構造物の応答加速度時刻歴は時系列データです。時系列の問題に対する標準的なアプローチでは、通常、機械学習アルゴリズムに入力できる特徴を手動で抽出する必要があります。特徴抽出には、一般的にデータの元となる分野の知識が必要とされます。

画像分類では、分類アルゴリズムで使用できる画像データの特徴を手動で抽出する必要がありましたが、深層学習（ディープラーニング）の出現により、特徴抽出はモデル自体から行えるようになりました。つまり、深層学習のモデルは、自ら多くのフィルターを通して特徴を抽出します。

本検討では、畳み込みニューラルネットワーク（画像分類で広く使われている深層学習モデル）を用いて時系列データ（応答加速度時刻歴データ）を分類することで、建物損傷の有無の予測を行いました。

【データ記述】

まずはシンプルなモデルを仮定することとして、完全弾塑性バイリニア 1 質点系モデルを検討しました。固有周期 1.0s と 1.2s のモデルを ElCentro NS、Kobe NS、Taft EW、Hachinohe NS、JMA KOBE、と BC J L2 の地震動に対して非線形解析を行い、応答加速度時刻歴を出力しました。

入力地震動の倍率を塑性率が 1 を下回る倍率から 2 を超える倍率まで徐々に増加させ、各モデルで合計 796 の解析ケースを作成しました。

従って、今回のデータセットは、796+796=1592 サンプルの応答加速度時刻歴データからなり、各サンプルは塑性化が発生している場合は「1」、発生していない場合は「0」とラベル付けされています。このデータセットは、1 列目にラベル、他の列に時刻歴データで構成された TSV ファイルにまとめられています。

※なお、ここでのデータは、実際の加速度センサーの観測値ではなく、シミュレーションモデル（完全弾塑性バイリニア 1 質点系モデル）の解析結果に相当するものです。したがって、現実の応用となると、上記とそれに付随する要因（ノイズ等）を考慮する必要があります。

【データ処理】

機械学習や深層学習では、一般に、まずデータを機械・深層学習アルゴリズムに投入できる形式に加工することが必要です。

データ処理として、現在のデータセットをトレーニングデータとテストデータにそれぞれ 66% と 33% の割合で分割しました。また、アンバランスデータ（一方のクラスのサンプル数が他方より大幅に多い）であるため、トレーニングデータとテストデータで相対的なクラス頻度がほぼ維持されるようにデータを層化抽出しました。

```
# Split the Dataset
from sklearn.model_selection import train_test_split
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size=0.33,
                                                random_state=42, stratify=y)
```

```
print(Counter(y_train))
print(Counter(y_test))
```

```
Counter({0: 875, 1: 191})
Counter({0: 432, 1: 94})
```

なお、ここで使用した時系列データは単変量であり、時系列例ごとに 1 つのチャンネルしかありません。しかし、実際には、時系列データは多変量の場合があります（例えば、X、Y、Z 方向の加速度時刻歴データ）。そこで、numpy (python パッケージ) を用いて、簡単な整形を行うことで、現在のデータを多変量データに適応可能な形式に変換しました。これにより、多変量時系列データに適用しやすいモデルを構築することができます。図 2 は、単変量と多変量の時系列データの違いをよく表しています。



図 2 単変量と多変量時系列データの違い

【畳み込みニューラルネットワーク

(Convolutional Neural Network)】

参考文献で提案されているモデルを改良し、畳み込みニューラルネットワーク（アーキテクチャ）を構築しました。そのモデルの模式図を図 3 に示します。

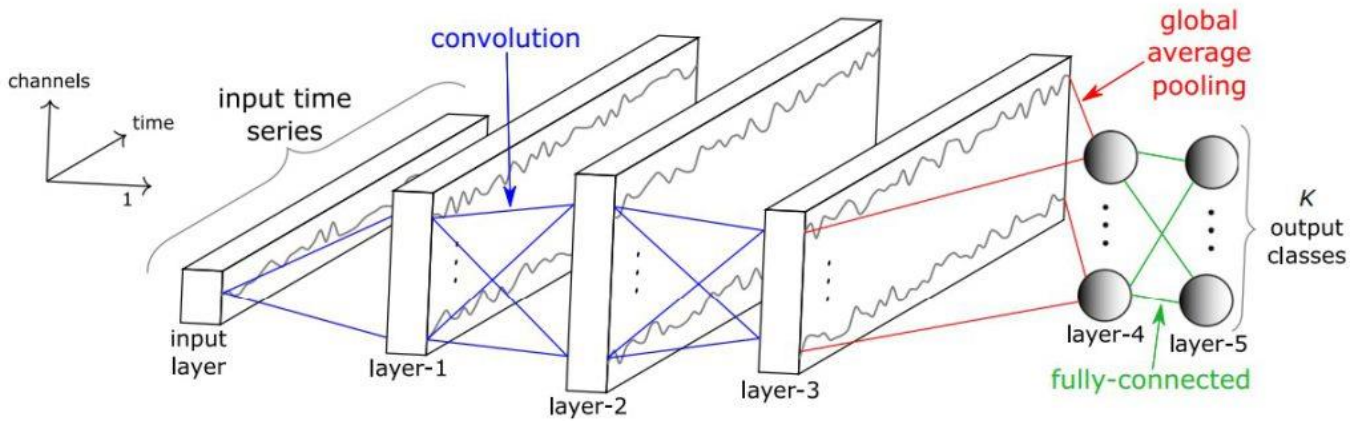


図3 畳み込みニューラルネットワークの模式図
(出典: Deep learning for time series classification: a review)

表1 学習パラメータ

最適化方法	Adam 最適化	1次及び2次モーメントの適応的な推定に基づく確率的勾配降下法
初期学習率	0.001	—
損失係数	Cross entropy	モデルが学習データセット全体を通過する1サイクル
バリデーション分割比率	0.2	バリデーションデータとして使われるトレーニングデータの割合

【モデル学習】

以下の設定で、トレーニングを実行しました。学習パラメータを表1にまとめます。

```
epochs = 500
batch_size = 32

callbacks = [
    keras.callbacks.ModelCheckpoint(
        "/content/drive/MyDrive/TimeSeriesClassification/best_model_1.h5",
        save_best_only=True, monitor="val_loss"),
    keras.callbacks.ReduceLROnPlateau(
        monitor="val_loss", factor=0.5, patience=20, min_lr=0.0001),
    keras.callbacks.EarlyStopping(
        monitor="val_loss", patience=50, verbose=1)]

model.compile(optimizer="adam", loss="sparse_categorical_crossentropy",
              metrics=["sparse_categorical_accuracy"])

history = model.fit(x_train, y_train, batch_size=batch_size, epochs=epochs,
                  callbacks=callbacks, validation_split=0.2, verbose=1)
```

各エポックでの学習時に出力されるモデルの損失関数の値と正解率を図4に示します。

左のグラフは「損失関数値のグラフ」、右のグラフは「正解率のグラフ」です。青線は学習データに対する損失値と正解率、オレンジ線はバリデーションデータに対する損失値と正解率を表します。

ニューラルネットワークの学習では損失関数の値を小さくするように学習が進んでいくため、一般には損失値

が小さいほど良いモデルであると考えられます。同様に、正解率が高いほど良い状態となります。グラフから、240回目のエポックでは損失関数が0.2以下に減少し、正解率も95%以上に向上していることが確認できます。これは、学習がしっかりと達成されていることを示しています。また、バリデーションデータに対する損失値や正解率が学習データに対する損失値や正解率と一致しているため、オーバーフィット（過学習）は生じていないことがわかります。

※過学習：学習データに対しては良い性能を示すが、バリデーション・テストデータに対しては悪い性能を示す現象

【モデル評価】

学習したモデルを再ロードし、テストデータに対して評価しました。なお、テストデータは評価用に保存したオリジナルデータの33%です。

```
[ ] model = keras.models.load_model("/content/drive/TimeSeriesClassification/best_model_2.h5")
test_loss, test_acc = model.evaluate(x_test, y_test)
print("Test accuracy", test_acc)
print("Test loss", test_loss)

17/17 [=====] - 3s 140ms/step - loss: 0.0598 - sparse_categorical_accuracy: 0.9753
Test accuracy 0.9752851724624634
Test loss 0.059751566499471664
```

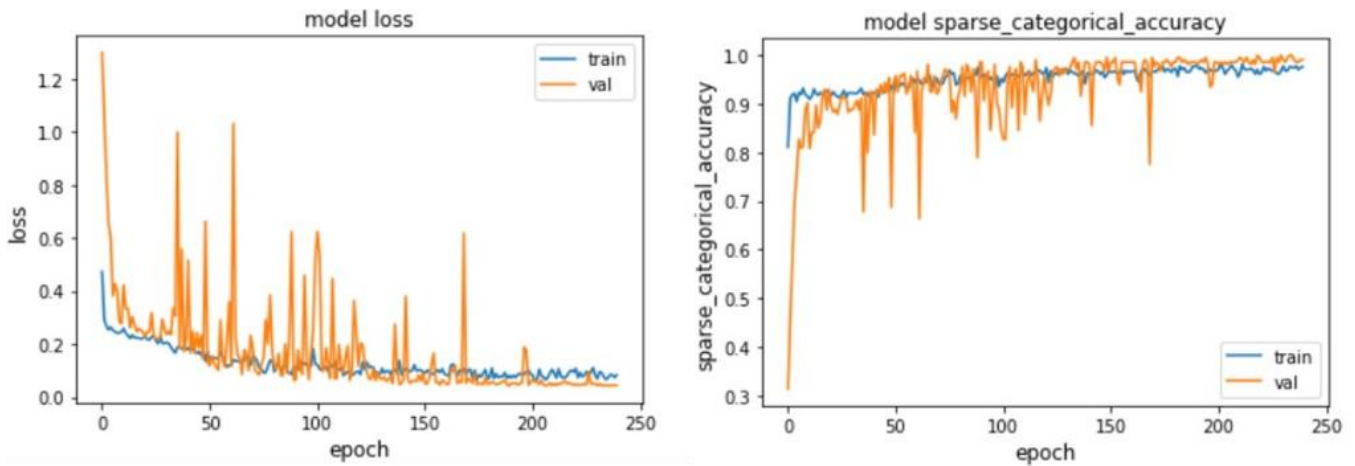


図4 学習時に出力される損失関数の値と正解率

正解率を評価基準としてテストデータで評価したモデルは、ほぼ 97%の正解率を示しています。しかし、扱う問題やデータセット（バランス、アンバランス）によっては、他の指標（適合率、再現率など）を用いてモデルを評価する必要があります。

そのため、他の指標に対してモデルを評価するために、`confusion_matrix` をプロットしました（図5）。「not_yield」は「塑性化していない」クラスで、「over_yield」は「塑性化している」クラスです。「True labels」はサンプルの実際のクラスを表し、「Predicted Labels」は機械学習モデルで予測されたクラスを表します。そういう意味では、422 という数字は、実際に「not_yield」クラスに属し、機械学習モデルによって「not_yield」と予測されたサンプルの数です。一方、10 という数字は、実際には「not_yield」クラスに属しているが、モデルによって「over_yield」クラスと予測されたサンプルの数を意味します。

`ConfusionMatrix` から各種評価指標のスコアを求める方法を図6に示します。

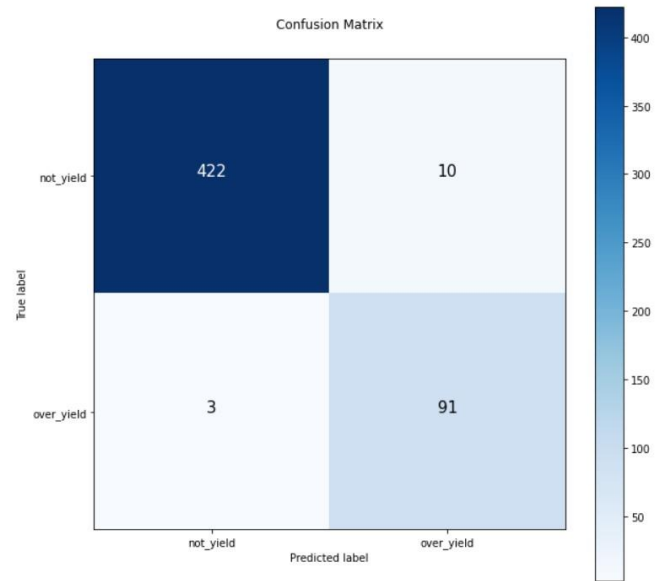


図5 confusion_matrix

※Confusion Matrix の「Positive」と「Negative」は、考慮するクラスによって異なります。「over_yield」クラスを考える場合、「Positive」は「over_yield」、「Negative」は「not_yield」を指します。

		予測クラス		
		Positive	Negative	
実際クラス	Positive	True Positive (真陽性)	False Positive (偽陽性)	TP Rate = $\frac{TP}{(TP+FN)}$ FP Rate = $\frac{FP}{(FP+TN)}$ Accuracy (正解率) = $\frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$
	Negative	False Negative (偽陰性)	True Negative (真陰性)	Precision (適合率) = $\frac{TP}{(TP+FP)}$ Recall (再現率) = $\frac{TP}{(TP+FN)}$ F1-Score (F値) = $\frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$

図6 confusion_matrix からの評価指標の求め方

このようにして得られた評価指標スコアを表2にまとめます。他の評価指標に対して評価した場合、テストデータでのモデルの性能は95%以上であることがわかります。

表2 指標スコア

ラベル	適合率 (Precision)	再現率 (Recall)	F1 値 (F1 Score)
Not_yield	0.99	0.98	0.98
Over_yield	0.90	0.97	0.93
平均 (Average)	0.95	0.97	0.96

【モデルの適用範囲】

前述したように、学習に用いるデータは、固有周期 1.0s と 1.2s の質点系モデルの時刻歴データです。しかし、実際には、シミュレーションモデルと実際の建造物の固有周期は、一定の幅をもってばらつく場合があります。

したがって、固有周期 1.0s と 1.2s の質点系モデルの応答時刻歴データで学習させた畳み込みニューラルネットワーク (CNN) モデルは、1.0s、1.2s に対してある程度変動した固有周期のモデルデータでもテストする必要があるはずですが。そこで、同様に、固有周期 0.5s、0.6s、0.7s、0.8s、0.9s、1.1s、1.3s、1.4s、1.5s のモデルの応答加速度時刻歴 (同様にラベルを付けた) データからなる TSV ファイルを作成することにしました。そして、このデータに対して CNN モデルをテストしました。

表3は、すべての評価指標に対するモデルの性能値を示しています。

評価の結果、固有周期 0.7s、0.8s、0.9s、1.1s、1.3s、

1.5s のデータに対して、学習済み CNN モデルは良好 (90%以上) な性能を発揮することがわかりました。しかし、固有周期 0.5s と 0.6s のデータに対しては、性能が悪化しています。

以上の検討から、実際の建造物の固有周期がシミュレーションモデルと最大 1.25 倍異なる場合でも、精度を保つことができたと判断できます。

4. まとめ

- 直接建物の応答加速度時刻歴データから損傷有無 (塑性化発生) を判断できる AI モデルを開発し、その適用性を評価しました。
- この AI モデルは、学習に用いたモデルデータの固有周期の約 1.25 倍までの固有周期に対応するデータに対して、良好な性能を示しました。
- なお、本モデルはプロトタイプとして実装したものであり実運用には課題もあると思いますが、プロトタイプとしては良い精度が出ています。

5. さいごに

機械学習技術の展開や実装の仕方を見ていると、これからの時代で AI がより活用されることは間違いないでしょう。AI と機械学習技術が第 5 次産業革命を推進すると多くの人が考えています。そう考えると、今こそ、それぞれの分野で AI の可能性を追求し、ステップアップする良い時期なのではないでしょうか。今回は、構造ヘルスマニタリング領域での AI 活用を例示しましたが、同じようなアイデアの実現にお困りの方はぜひご相談ください。

表3 全ての評価指標に対するモデルの性能値

固有周期	正解率 (Accuracy)	適合率 (Precision)	再現率 (Recall)	F1 値 (F1 Score)
0.9s, 1.1s, 1.3s	0.98	0.99	0.99	0.99
0.8s, 1.4s	0.98	0.98	1.00	0.99
0.7s, 1.5s	0.98	0.99	0.99	0.99
0.5s, 0.6s	0.86	0.79	1.00	0.88

RESP-D 使いこなせていますか？

RESP-Dをさらに有効活用するため、開発・サポートメンバーが強力に支援します。プログラム機能追加や作業支援など、予算に応じてご提案させていただきます。

- カスタマイズによる業務効率化
- モデル作成、結果整理支援、未経験者の育成支援

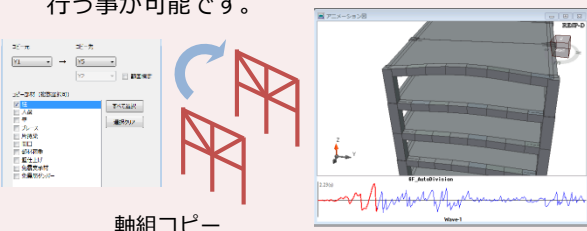


上記QRコードもしくはHPからお問い合わせください。

カスタマイズ事例

入力機能

現状の機能では入力できないモデル形状への対応やモデル化に非常に手間を要する作業の省力化を行う事が可能です。



軸組コピー

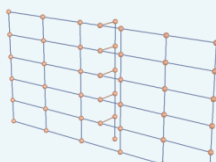
上下動用大梁自動分割

計算機能

新しいデバイスや従来の一貫構造計算プログラムでは扱われない部材、もしくは解析手法を組み込みます。

No.	符号	板厚 mm
1	SW1	15
2	SW2	20
3	SW3	25
4	SW4	30

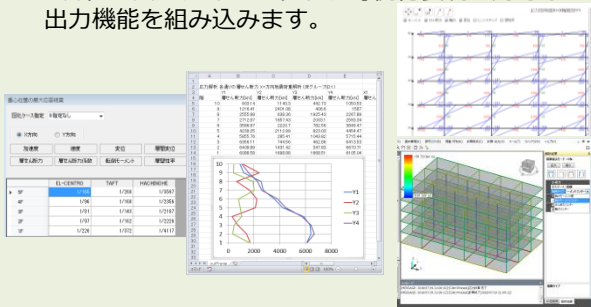
鋼板壁の計算機能



質点系-平面フレーム
並列解析

出力機能

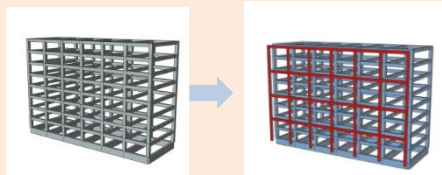
各社の出力フォーマットや可視化表現に対応した出力機能を組み込みます。



解析支援事例

基本モデルの作成

RESPを熟知したメンバーが基本のモデル入力までを行い、設計作業に集中できるよう支援します。



既存建物モデル作成 (KKE)

補強検討・設計 (発注者様)

出力結果の整理

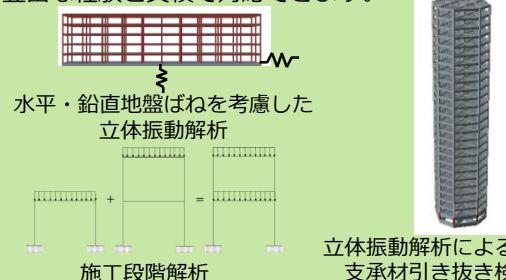
RESP-Dからの結果を各社様用の計算書フォーマットで整理します。ご要望に応じて、直接出力する機能をRESP-Dに組み込みます。

Step	δ (mm)	Qx (kN)	δ (mm)	Qy (kN)
53	19180	20769	0.01512	-1.9E-12
53	204083	311397	0.071208	-1.0E-12
54	191374	276629	0.11984	-2.21E-12
95	214196	283514	0.115877	-2.18E-12
95	224568	253847	0.046145	-3.59E-12
97	212532	217321	-0.000012	-2.46E-12

層	種	単位	μ m ² /mm ²	μ m ² /mm ²
01	99L	mm ²	0.32	126
1	11FL	mm ²	0.32	126
2	11FL	mm ²	0.32	126
3	11FL	mm ²	0.32	126
4	11FL	mm ²	0.32	126
5	11FL	mm ²	0.29	186
6	11FL	mm ²	0.29	186
7	11FL	mm ²	0.29	186
8	11FL	mm ²	0.29	186
9	11FL	mm ²	0.29	186
10	11FL	mm ²	0.29	186
11	11FL	mm ²	0.29	186
12	9FL	mm ²	0.29	186
13	9FL	mm ²	0.29	186
14	7FL	mm ²	0.29	187
15	9FL	mm ²	0.26	186
16	9FL	mm ²	0.26	186
17	9FL	mm ²	0.26	186
18	9FL	mm ²	0.26	186
19	9FL	mm ²	0.26	186

追加検討の対応

評定で指摘された高度な追加検討もRESPであれば豊富な経験と実績で対応できます。



水平・鉛直地盤ばねを考慮した
立体振動解析

施工段階解析

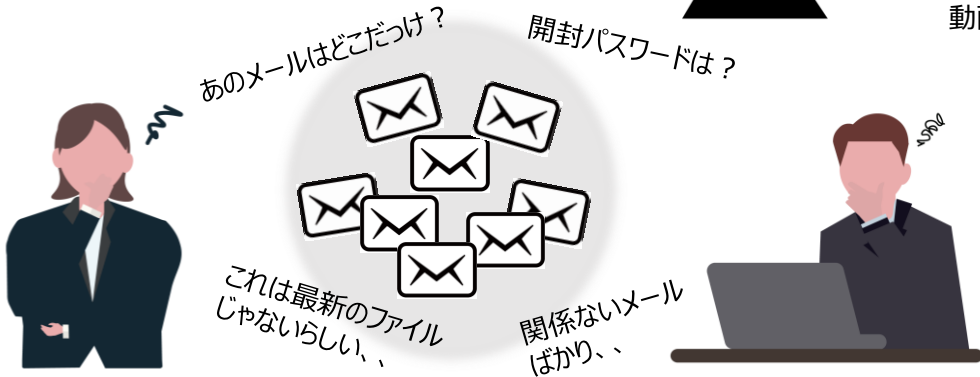
立体振動解析による免震
支承材引き抜き検討



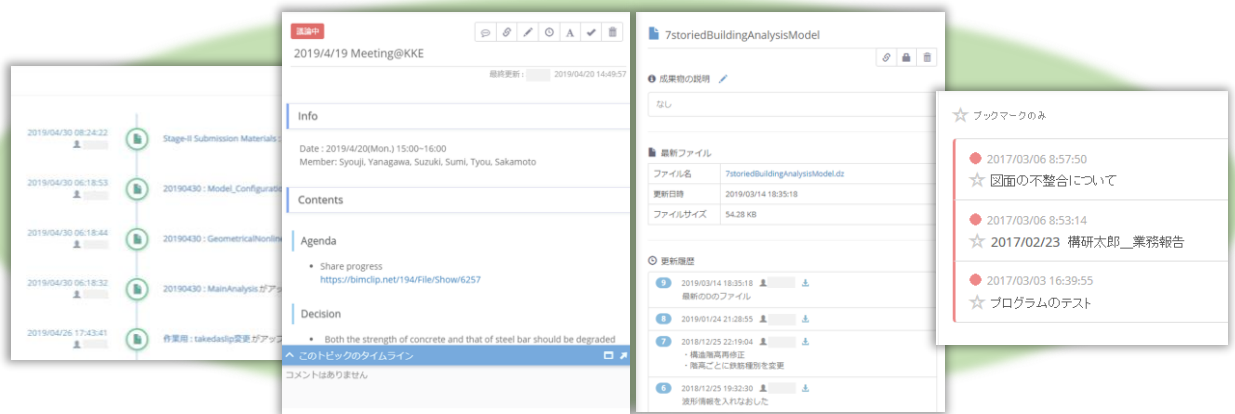


Webサイトで
詳細情報、
動画を公開中。

建設業のコミュニケーションをもっとシンプルに。

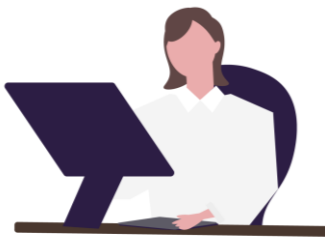


メールによるコミュニケーションに限界を感じていませんか？



最新情報が一元化

関係者の招待がスムーズ



ファイルが履歴管理され
最新版が一目瞭然



必要な情報だけ通知



プロジェクトごとに情報が整理され、
いつでもどこでもすぐに必要な情報にたどり着けます。



Kaiseki Portal

「解析ポータル」サイトでは、災害、環境、維持管理、建築、土木の各分野での解析に関する様々な情報やコンサルティングサービス、構造解析、設計用入力地震動作成システム、地震リスク評価、災害時対策、地盤と構造物の動的相互作用、熱・流体解析に関するソフトウェアについてご紹介しています。

本誌のバックナンバー(PDF形式)をダウンロードいただけます。ぜひお立ち寄りください。

<https://kaiseki-kke.jp/activity/>



From Editors

今回は、建築系の話題（解析、最適化、AI 利用）や設計用入力地震動などを取り上げました。リアルな現場に我々のシミュレーション技術が少しでもお役に立てれば光栄です。

写真は、弊社の事務所の窓から撮影したものです。空の色や雲の感じが面白そうに見えた時に、ついスマホで撮影してしまいます。二度と同じ場面に遭遇しないと思うと、他愛もない瞬間ですが少し感慨深くなります。



構造計画研究所

KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

本誌掲載記事ならびに弊社の商品・サービスに関するお問い合わせは下記までお願いいたします。

kaiseki@kke.co.jp

(株)構造計画研究所 エンジニアリング営業 1, 2 部

〒164-0011 東京都中野区中央 1-38-1 住友中野坂上ビル 10F

TEL (03) 5342-1136

(株)構造計画研究所 西日本営業部

〒541-0047 大阪市中央区淡路町 3-6-3 御堂筋 MTRビル 5F

TEL (06) 6226-1231

解析雑誌 *Journal of Analytical Engineering Vol.49 2023.02*

発行日 2023年2月28日

編集・発行 株式会社構造計画研究所 エンジニアリング営業 2 部
164-0011 東京都中野区中央 1-38-1 住友中野坂上ビル 10F

お問い合わせ 電話 (03)5342-1136 FAX (03) 3367-1011
kaiseki@kke.co.jp