

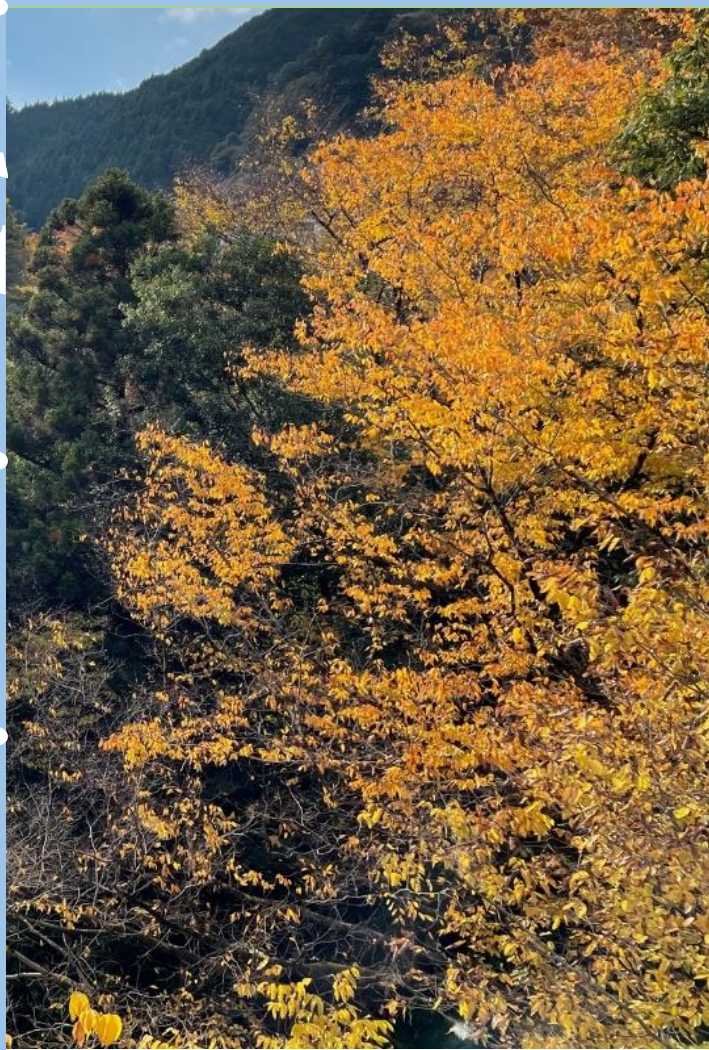
解析雑誌

Vol.48 2022.11

Topics

- 土木・建築中間領域のエンジニアリング
コンサルティング
- iRIC ソフトウェアを活用した河川防災解析
- プラント設備機器の振動解析・疲労寿命評価
- 水道施設耐震工法指針の改定について
- 画像認識技術を用いた目視主体業務の自動化

Journal of Analytical Engineering



地域のシンボルを守る

構造計画研究所
営業本部副本部長
佐藤 壮

私のふるさととは新潟県の雪深い山あいの町で、冬には一晩で雪が1 m以上積もることがあります。私の通っていた高校には様々な地域から生徒が集まっており、その中に只見線という超ローカル線を使って通ってくる生徒もいました。只見線も冬には雪にすっぽり埋まります。ディーゼルで走る只見線は馬力が足りず、除雪もままならない中、雪で立ち往生することがよくありました。雪に阻まれて動けない列車はどうするのか？ 正解は、「一旦バックし、助走をつけて雪の塊に突進し、吹き飛ばすことで線路上の雪をかき分ける」です。現地の高校生たちはこの現象を「バックアタック」と表現していて、「今日はバックアタックが3回あったので、乗り継ぎに間に合わず遅刻した」というような形で日常的に使っていました。30年以上前の話です。

さて、その只見線、2011年7月の新潟・福島豪雨によって橋梁が3カ所流されるなど甚大な被害にあり、復旧が危ぶまれていましたが、2022年10月、11年ぶりに全線復旧し運転を再開。80億円の復旧費用を県と自治体とJRが三分の一ずつ負担し、県が鉄道施設を保有する上下分離方式をとるなど、様々な方法を駆使しての復旧となりました。

最近の自然災害の激甚化によって、地方のローカル線が大きな打撃を受けることが多くなっています。このような路線はもともと採算が厳しいところが多いのですが、被災を契機にその在り方を見直すケースも出ているようです。2017年の九州北部豪雨で被害を受けた日田彦山線は、復旧を断念してバス路線に切り替えました。今年8月の山形・福島豪雨で被害を受けた磐越西線・米坂線も、復旧を不安視する声が上がっていると報道されています。その一方で、東北の大震災で甚大な被害を受けながらも復旧した三陸鉄道のように、地域の復興のシンボルになっている鉄道もあります。今回の只見線のケースでは、復興のシンボルとしてだけでなく、その見事な沿線の風景がSNSなどで話題になり、観光資源として見直されたという点も含めての復旧となりました。私にとっても、地元の災害がようやく一区切りついた、と感じさせられた報道でした。

「地元のインフラがきちんと動く」ということは、その地域が災害を克服し、いつもの生活が戻ることの象徴でもあります。私たちが取り組んでいるインフラの強靱化、長寿命化は、その地域に住む人々のシンボルを守ることでもあるということです。皆さまと一緒に、これからもこの取り組みを進めていきたいと思えます。今後ともよろしく願いいたします。

解析雑誌 Vol. 48 2022. 11

巻頭言	地域のシンボルを守る	02
	営業本部副本部長 佐藤 壮	

Topic 1		
●	土木・建築中間領域のエンジニアリングコンサルティング	04
Topic 2		
●	iRIC ソフトウェアを活用した河川防災解析	08
Topic 3		
●	プラント設備機器の振動解析・疲労寿命評価	12
Topic 4		
●	水道施設耐震工法指針の改定について	18
Topic 5		
●	画像認識技術を用いた目視主体業務の自動化	22

Kaiseki Portal / From Editors		27
--------------------------------------	--	----

土木・建築中間領域のエンジニアリングコンサルティング

構造計画研究所（以後 **KKE** と称します）は元々建築の構造設計事務所として創業しております。しかしその後60年以上に渡り、建築の構造設計のみならず、電力・エネルギープラント、鉄道・道路等の交通インフラ、河川・上下水道等の社会インフラといった様々なタイプの土木構造物の解析的検討の実績も積んでまいりました^{注)}。こうした経緯から、土木・建築の複合的な知見が必要になる構造物や空間設計のご相談をいただく機会があります。ここでは **KKE** ならではの土木・建築中間領域のユニークなエンジニアリングコンサルティング事例をご紹介します。

注) **KKE** には建築の構造設計部門はありますが、建築の意匠設計部門や土木設計部門はありません。土木構造物に関しては構造、地盤、流体などを対象とした解析コンサルティングをご提供しています。

●土木・建築中間領域とは？

KKE が土木・建築の複合的な知見が必要になる中間領域と位置付けているものにはいくつか異なるタイプがあります。例えば下部が排水設備、上部が管理棟や機械棟になっている河川の排水機場は、一つの構造物の中に土木と建築の設計指針の適用箇所が混在している**土木・建築一体構造**です。この場合は、混在していること自体が厄介ではあっても、沿うべき指針は明確です。

しかし、近年の社会的ニーズ、最新技術、あるいは特殊な形状やデザイン等を取り入れた構造物の中には土木・建築関連の様々な設計指針のどれとどれを踏まえるべきなのか不明確で、そこから見極めていく必要があるものがあります。また駅前広場のような**土木構造物と建築構造物が融合する空間**の設計時にも、両者の境界エリア等に同様の不明確さが発生することがあります。

●土木・建築中間領域の難しさ

以上のような構造物や空間の新設設計や耐震補強等を実施する場合、多くの設計技術者の方は下記の点に身構えるのではないのでしょうか？

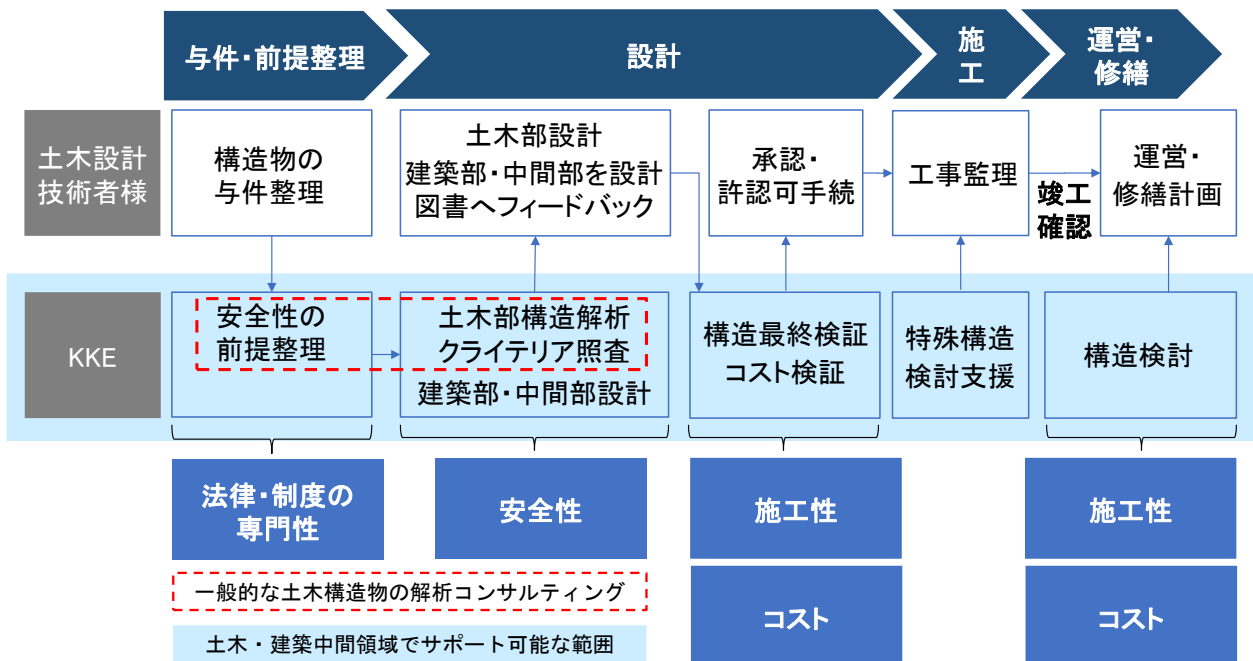
- (1) よく知っている法規や指針の他に馴染みのないものも参照しなければいけない。
- (2) 馴染みのない指針の適用部分は、安全性を照査するための適切な解析手法やクライテリアの設定方法がよく分からない。
- (3) 異なる指針の適用部分同士をどのように関連付ければよいのか分からない。
- (4) 馴染みのない指針の適用部分は、安全性のみならず、コストや施工性とのバランスに配慮した設計の最適化までカバーするのは難しい。
- (5) 以上をどのように審査されるのか分からない。

これらは **KKE** にとっても易しいことではありませんが、冒頭に述べたような経緯から、こうした難しさに対して少なからぬ経験や知見を積んでいます。対象問題そのものの実績がなくとも、複数の部分的な類似事例の対応経験を元に対応の仕方を検討したケースもあります。

●土木・建築中間領域検討時の役割分担

冒頭でご紹介した通り、**KKE** には建築の構造設計部門の他に土木構造物の経験が豊富な解析部門が

ありますが、土木の設計部門はありません。このため土木・建築中間領域の検討には通常、土木構造設計に長けた方の支援という形で参画しています。この場合おおむね下記のような役割分担となります。



土木・建築中間領域検討時の役割分担

一般的な土木構造物の解析コンサルティングの場合、明確な（どれが相応しいか迷う必要がない）設計指針に沿った上図の赤破線部の作業（条件整理、解析、照査）が KKE の主な役割ですが、建築の構造設計部門のノウハウが加わる土木・建築中間領域検討の場合は、効率的なプロジェクト進行やコスト削減が可能になるよう、指針の見極め、構造解析から設計、施工計画、修繕計画に至るまで一貫して支援しています。

●土木・建築中間領域の検討事例

ここからは、土木・建築中間領域検討の実施例を「法律・制度」「安全性」「施工性」「コスト」の観点からご紹介します。尚、写真やCGはイメージであり、実際に KKE が関わった構造物のものではありません。

【実施例1】旧指針で設計された排水場の耐震補強

法律・制度

下部構造（排水機部）は河川構造物の耐震設計指針、上部構造（管理棟、機械棟等）は建築基準法に準拠して耐震計算を実施する必要があります。

安全性

排水圧等の特殊要素も勘案した詳細解析（FEM



解析、振動解析等)を実施し、解析結果に基づき設計クライテリアを設定しました。

上部構造と下部構造は別々にモデル化して構造解析を行い、両者の境界での反力の受け渡しで関連付けています。

コスト

通常の建築耐震診断に基づく補強量が膨大になるため、用途・部分ごとの剛性を分析し、部材ごとに必要最低限の改修計画を提案しました。また上部構造について補強ではなく構造種別を変更(RC造→S造)して再構築することを提案した事例では、上部の軽量化により基礎構造の負担を軽減し、建築工事コスト・土木工事コストとも削減することが出来ました。

【実施例2】歩道や高架橋に付帯するエレベータータワーの構造設計

法律・制度および安全性

湾岸付近の軟弱地盤上の敷地であったため、建築のエレベーター設備設計指針には記載のない、地盤の側方流動を踏まえた動的解析を実施し、地震波ごとに設計クライテリアを見直して部材の効率化を図りました。

コスト

杭工法の最適化を検討し、鋼管杭案から既製杭案に変更して施工コストを約20%削減しました。

施工性

狭小敷地であったため、超高層建築の施工例を基に、足場を組まずに施工性を確保できるようタワークレーンの適用を提案しました。



【実施例3】駅前ペDESTリアンデッキの屋根・階段の構造設計

法律・制度および安全性

下部構造(デッキ)は道路橋示方書、上部構造(屋根/階段)は建築基準法に基づいて安全性の前提条件を整理しました。上部、下部それぞれの構造構造計算を行い(両者間は反力の受け渡しで関連付け)、上部構造を建築基準に適合させるためのクライテリアを設定しました。外力は公共施設であることを配慮した重要度係数を用いて設定しました。

以上の特別措置に関する説明を各ステークホルダーから求められ、丁寧にお応えしました。

コスト

駅舎の構造体活用、杭の再活用など、経済性に配慮した提案をしました。

施工性

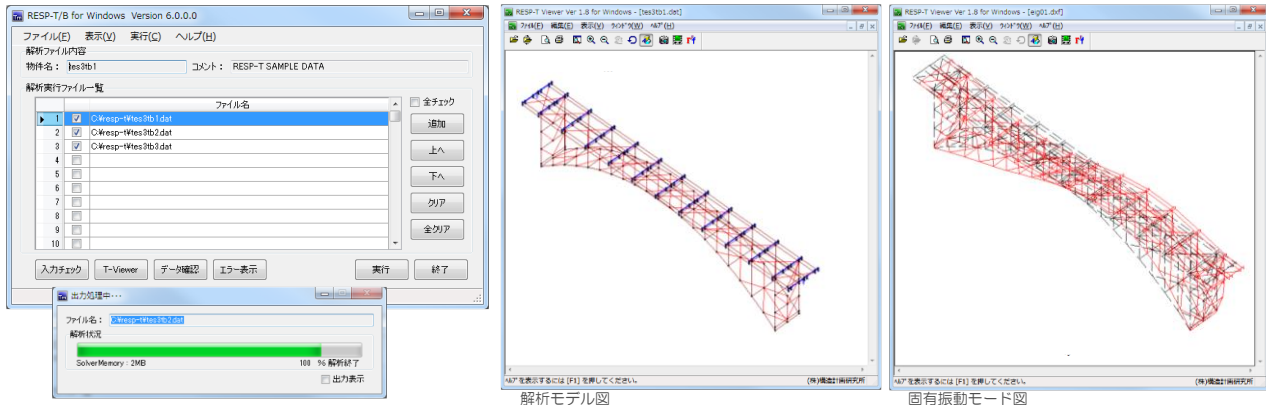
施工に配慮し、建築部分は建築様式図面、土木部分は土木様式図面としました。



RESP-T

3次元静的・動的複合非線形解析プログラム

あらゆる土木・建築構造物に対応する3次元静的・動的複合非線形解析プログラムです。
公的研究機関、大学、建設会社、設計コンサルタント等多数の導入実績と豊富な使用実績に裏付けられた信頼性を有し、充実したサポート体制による高い信頼度を持った製品です。



- 相関モデル (M-N、M-M、M-M-N) 時々刻々と変化する軸力に対して、対応する曲げ耐力を計算し、剛性変更の制御をすることが可能
- 幾何学的非線形対応 修正ラグランジュ定式化による幾何学的非線形を考慮可能
- 様々な復元力モデルに対応 硬化則型を始め、さまざまな復元力を使用することが可能
- 粘性減衰力モデル 質量比例型、剛性比例型(部材別指定可)、Rayleigh型(部材別指定可)、モード別、ひずみエネルギー比例型が考慮可能

適用事例

道路橋、鉄道橋、地中構造物、上下水道施設、河川構造物、港湾施設、電力施設
プラント構造物、高層建築物、免震・制振構造物、鉄塔

解析機能

初期応力状態作成、静的解析⁽¹⁾(荷重増分法、変位増分法、弧長増分法、強制変位法)、固有値解析、動的解析(モード合成法、直接積分)、座屈固有値解析
* (1)荷重増分と強制変位の同時作用が可

要素

トラス要素⁽¹⁾⁽²⁾、ビーム要素⁽¹⁾⁽²⁾、材軸直交分割要素⁽¹⁾⁽²⁾、パネ要素⁽²⁾、剛域付き4点支持パネ要素⁽²⁾、剛域付き2点支持パネ要素⁽²⁾、MSS要素⁽²⁾、平面ひずみ要素⁽¹⁾⁽²⁾、平面応力要素⁽¹⁾⁽²⁾、板要素、減衰要素⁽²⁾、剛域付き4点支持減衰要素⁽²⁾、剛域付き2点支持減衰要素⁽²⁾、Maxwell要素⁽²⁾
* (1)幾何学的非線形考慮可 (2)材料非線形考慮可

復元力特性

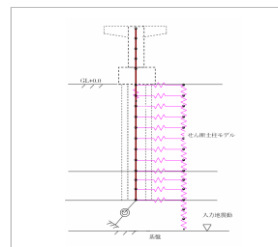
逆行型、武田型、スリップ型、JR総研RC型⁽¹⁾、JR総研SRC型⁽¹⁾、辻モデル、岡本型、D-Tri(電共研案)型、武藤型、標準型、深田型、原点指向型、最大点指向型、標準型テトラリニア⁽¹⁾、原点指向型テトラリニア⁽¹⁾、最大点指向型テトラリニア⁽¹⁾
* (1)最終勾配負考慮可

特殊復元力特性

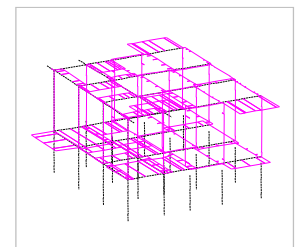
D-Tri型、ひび割れ域剛性低減型、バイリニアスリップ型、D-Tri(電共研案)型、3次関数逆行型、歪み依存型バイリニア型、高減衰積層ゴム修正バイリニア型、Ramberg-Osgood(hardning考慮)型、(株)ブリジストン鉛入り積層ゴム型、東洋ゴム(株)HDR型修正バイリニア型、新日鐵(株)鋼棒ダンパー関数近似型、新日鐵(株)鋼棒ダンパーバイリニア型、5社共通仕様新LRB型、新日鐵U型ダンパー(関数定義式)型、ゴム支承トリリニア、オイレ工業(株)BMRダンパー型

復元力特性(減衰)

変位依存マルテリニア逆行型、変位依存3次関数逆行型、制震壁(オイレ)型、速度依存バイリニア逆行型、速度依存トリリニア逆行型



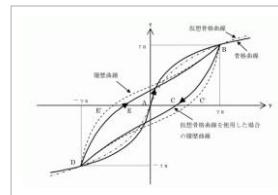
上部構造-基礎一体モデル
(動的相互作用考慮)



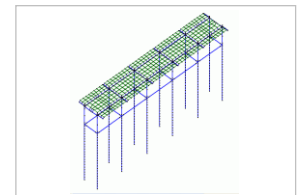
不整形ラーメン高架橋解析モデル
(ねじりモーメント図)

機能追加予定

- GHE-S履歴モデル
- 板曲げ要素



GHE-Sモデル



板曲げ要素

製品

- RESP-T/B for Windows (大変形対応版)
- RESP-T/A for Windows (弾塑性対応版)
- RESP-T/E for Windows (機能限定版)
- RESP-T/S for Windows (静的解析限定版)

動作環境

- 対応OS
Windows XP / Vista / 7 / 8 (64bitOS対応)
- 必要メモリ、ディスク
メモリ 256MB以上、空きディスク容量 1GB以上

iRIC ソフトウェアを活用した河川防災解析

近年大型化、頻発化している台風により、国内各地で河川氾濫や土石流等による被害が相次いで発生しており、事前の対策が急務となっています。この検討のための被害想定や実被害の事後検証には水や土砂の挙動に関する数値解析が重要な役割を果たします。

KKE は従前から河川流況、河床変動、河川氾濫、土石流など平常時と災害時の流体解析コンサルティングサービスでこのニーズにお応えしてきましたが、それらにより培ってきた知見を活かしつつ、水工学に係る最新の数値解析プラットフォーム **iRIC ソフトウェア** を活用することで、よりサービスの幅を広げ、品質を向上させています。

ここでは iRIC ソフトウェアを活用した、最新の河川防災解析事例をご紹介します。

●iRIC ソフトウェアと各種の河川防災解析

iRIC (International River Interface Cooperative) ソフトウェアは水工学に係る数値解析のプラットフォームで、iRIC 研究会 (<https://i-ric.org/ja/>) に入会することで、無償で活用することが出来ます。

多様なソルバー（流れを計算するアルゴリズムを決める iRIC の中核部分）が用意されており、それぞれのソルバーの機能拡張が研究者によって継続され、日々更新されている点はユニークな特徴です。ユーザーは取り扱う問題によって最適な計算方法を選んで解析を行うことができます。また、DEM（地形データ）インポートやオートメッシュ作成等のプリポスト機能が充実しており、アニメーションなど解析結果の可視化機能も備えています。従来の河川流況解析プログラムに比べ、よりスピーディに解析を実行することが可能です。

KKE はこの iRIC ソフトウェアを、長年独自に培ってきた流体解析に関する知見を基に、また京都大学防災研究所・流域災害研究センターの竹林 洋史准教授に技術監修をしていただきながら、下記のような問題に活用しています。

・2次元流況解析

橋脚などの土木構造物周辺の2次元流況解析。流れ場に構造物をモデル化し、その影響を評価します。

・2次元河床変動解析

河道掘削事業や、水制などの治水事業、橋脚などの構造物による河床変動について解析します。

・氾濫解析

氾濫箇所と流量を指定し、土地の形状、土地利用を考慮した河川の氾濫状況を時系列に計算します。

・土石流解析

豪雨による表層地盤崩壊に起因した土石流の解析を実施します。

●解析事例

ここからは実際に最近発生した豪雨に起因する河川災害を、iRIC による解析で事後検証した事例をご紹介します。

【河床変動解析】

令和3年7月の豪雨時に発生した、黄瀬川大橋（静岡県沼津市）の橋脚の沈下現象を再現した解析事例です。黄瀬川大橋の周辺をモデル化し、iRIC（ソルバーは Nays2DH）を用いた河床変動計算を行いました。

モデル化においては、竹林先生からご提供いただいたデータを使用し、地表・河床地形には高解像度1mDEM、河床材料には黄瀬川大橋周辺で採取された混合砂の粒度分布を粒径加積曲線として設定しています。橋脚については、計算格子のセルを障害物と設定することで、疑似的に橋脚の設定をしています。また、河床変動をさせたくない領域については固定床の設定を行うことや、植生の影響を考慮したい領域では、植生の密度や高さといった情報の設定を行うことが可能です。境界条件としては黄瀬川大橋の上流側に存在するの水位観測所の水位から H-Q 式で推定した流量を使用して解析を行っています。

再現解析の結果では、上流側で河道が湾曲していることにより、外側（傾いた橋脚側）の流速が速くなり、河床が洗掘される様子が確認できました。また、計算領域全体として、河床の変化量についてはやや実現象とは乖離した値がみられますが、河床の浸食・堆積の傾向としては、概ね実現象をとらえた結果を得ることができています。

iRIC の 2 次元河床変動解析では、ターゲット（橋脚など）の詳細なモデル化をしてその周辺のみを評価することはできませんが、ターゲットを含む周辺の河道全体における河床変動の傾向を計算することができます。

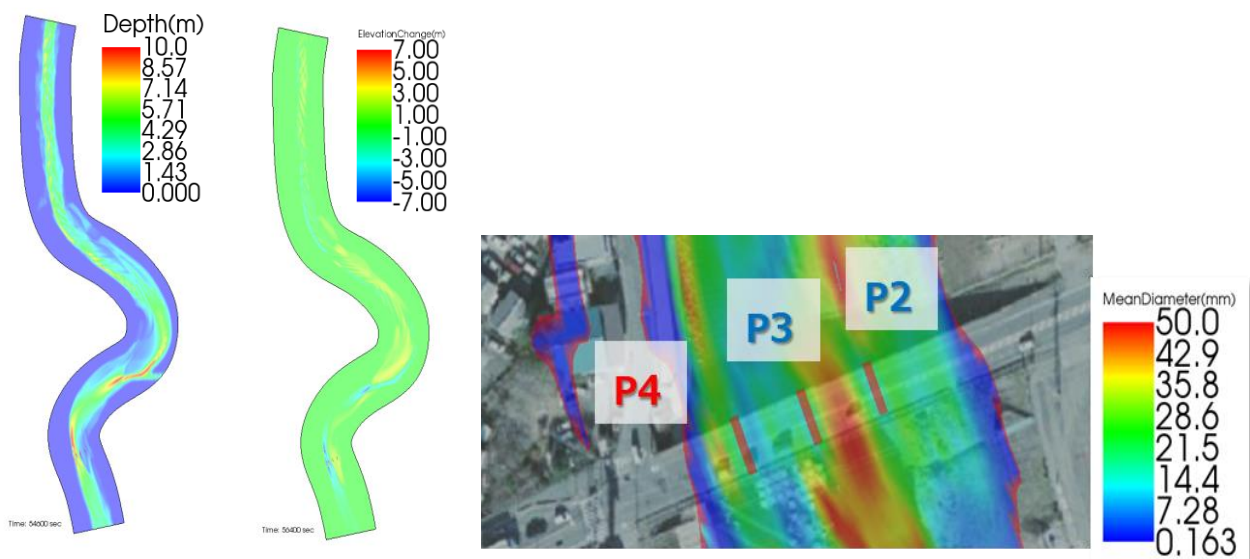


図1 iRIC(Nays2DH)を用いた河床変動解析の結果
(左から、河道深・河床変動量・平均粒径)

【氾濫解析】

令和2年7月の豪雨時に発生した、球磨川（熊本県）の氾濫を再現した解析事例です。

被害が甚大だった地域周辺をモデル化した iRIC(ソルバーは Nays2DFlood)による解析結果として、国土地理院の浸水推定図に近い浸水深分布を得ることが出来ました。本解析では令和2年7月豪雨時の流量データに基づくケースで実際の出水・氾濫イベントをよく再現していることを確認しました。

この時用いた流量データは、RRI モデルを用いた球磨川全流域モデルでの解析流量結果から得られたものです。RRI モデルは、流域に降った雨が河川に集まる現象、洪水が河川を流下する現象、河川を流

れる水が氾濫原に溢れる現象を流域一体で予測できる降雨流出氾濫モデルで、土木研究所 ICHARM により開発され無償提供されています。RRI モデルを用いた解析が iRIC の UI 上で実行可能な ‘RRI on iRIC’ 上で球磨川全流域の氾濫解析を行いました。

RRI モデルの解析は流域全体の雨量を直接インプットデータとしており、iRIC での計算に比べて解像度が粗いものの、実際の降雨データに基づいた流域全体にわたる流況が再現でき、浸水推定図と概ね同様の氾濫状況を得ることができています。

iRIC は基本的に流域の一部分を切り取った局所的なモデルを用いて解析を行うため、インプットとしてモデルの上流端・支川合流部（もしくは下流端）位置の流量データを必要とします。水位計が設置されていない、大出水で有効なデータが取れていない等の理由で当該位置での流量が不明であっても、本事例のように iRIC におけるインプット流量として降雨データに基づいた RRI モデルの解析流量データを用いることにより、再現解析が可能となります。本事例は過去の雨量データを用いる再現解析ですが、想定最大雨量データを用いることにより予測解析も行うことができます。

GIS を用いたマッピングや地形解析の技術を合わせて活用することにより、iRIC では扱いにくい部分を容易にすることや、アウトプットをわかりやすく示すことが可能となります。例えば、iRIC ではポリゴンにより固定床・移動床や障害物、マンシングの粗度係数などを指定しますが、これらの作業を GIS で行うことで、より詳細かつ容易に設定ができます。アウトプットについては、解析結果をエクスポートおよび加工することで GIS で読み込み可能な形式に変更し、図化を行うことでご要望に沿って柔軟なアウトプットを作成することができます。

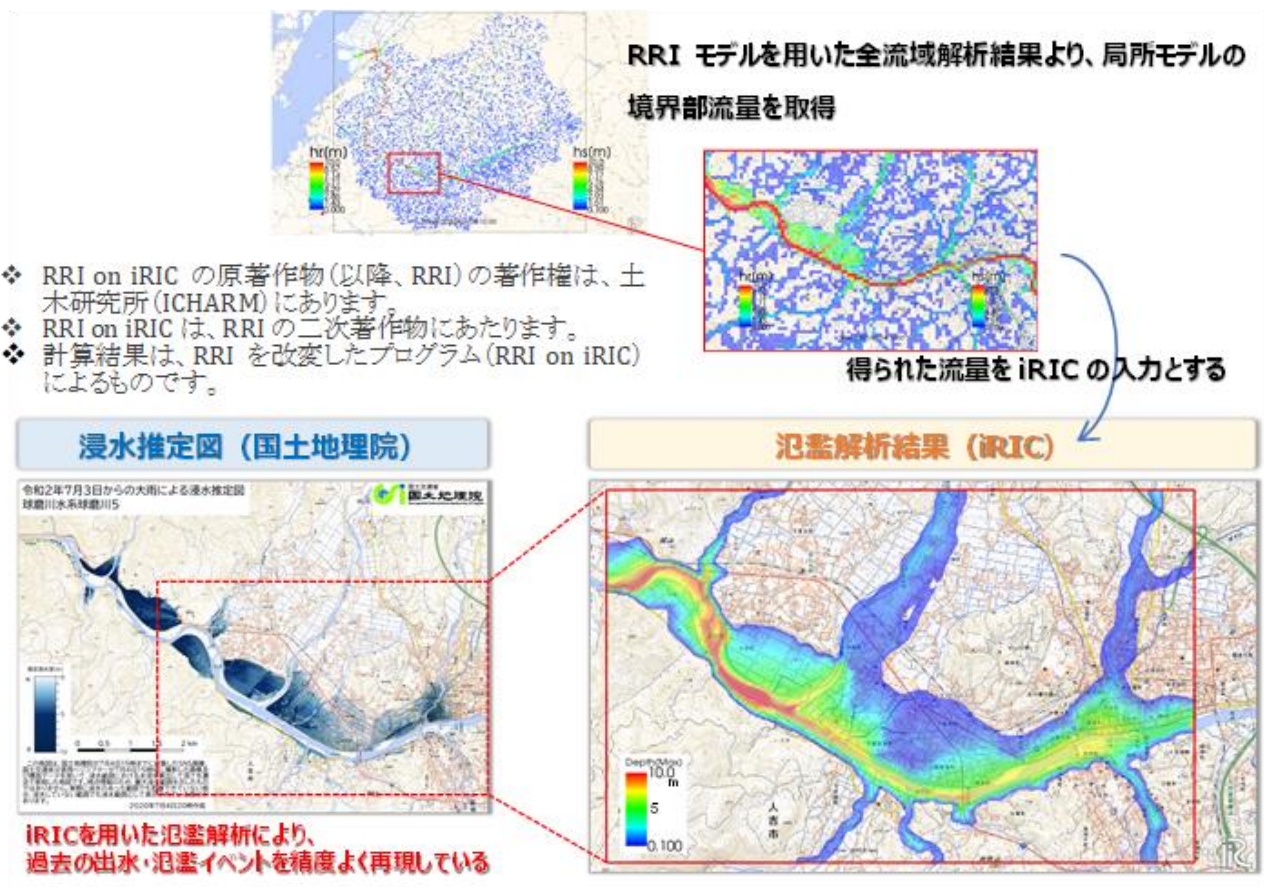


図 2 RRI モデルおよび iRIC(Nays2DFlood)を用いた氾濫解析の結果

流況・河床変動解析 コンサルティング

水工学に係る数値シミュレーションプラットフォーム iRIC による、河川の流れ・河床変動・氾濫解析等の解析サービスを提供しています。目的に応じて各種ソルバや弊社開発の解析エンジンを使用し、柔軟な解析に対応します。



事前対策 直前・直後対応 復旧対応

解析業務

現況のモデル化から設計条件におけるシミュレーションと結果のレポートまで、流体問題の解析技術をもとに、数値シミュレーションによる解析コンサルティングサービスを提供します。

■ 氾濫解析

河川氾濫箇所と流量を指定し、土地の形状、土地利用を考慮した河川の氾濫状況を時系列に計算します。

■ 2次元流況解析

橋脚などの土木構造物周辺の2次元流況解析。水制や橋脚などの構造物をモデル化し、その影響を評価します。

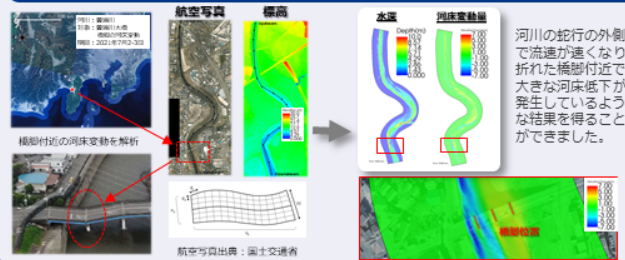
■ 2次元河床変動解析

河道掘削事業や、水制などの治水事業、橋脚などの構造物による河床変動などの影響を解析します。

■ 土石流解析

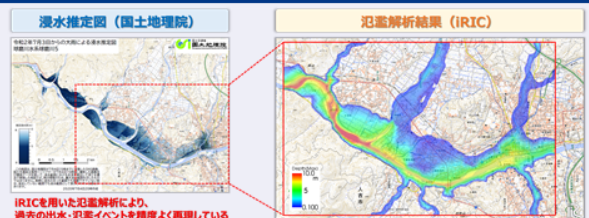
豪雨によって発生した表層崩壊に起因した土石流の解析。地域にフォーカスした危険範囲や土石流水深などを評価します。

黄瀬川大橋（静岡県沼津市）再現解析



河川の蛇行の外側で流速が速くなり、折れた橋脚付近で大きな河床低下が、発生しているような結果を得ることができました。

令和2年7月豪雨における球磨川氾濫の再現解析



NETIS登録番号KT-220028-A



クラウド型の洪水予測システムRiverCast®は、早期の避難判断をはじめ、河川周辺の施設・工事現場における安全管理、水門や排水ポンプ操作を支援します。

- 浸水回避
- 態勢判断
- 安全確保
- 避難指示

事前対策 直前・直後対応 復旧対応

リアルタイムに15時間先までの水位を予測

「いつ」「どこで」「どのくらい」の危険が迫っているのか？最先端の予測技術で、水位と雨量から増水のピーク・規模を可視化します。



システム特徴

- 1 スピーディに導入可能
- 2 Webで“いつでも どこでも”閲覧可能
- 3 情報を逃さない、安心のメール配信サービス

主な適用先



ピンポイントかつ確率的な予測情報

予報雨量の誤差を考慮した確率的な予測情報で、的確な意思決定を後押しします。

水位予測で 安全管理

- 重機の退避や作業員の避難判断に利用している。現場に熟くはならないサービスになっている。
- 大手総合建設事業者
- 危機管理部門は、警戒態勢や避難情報の発令に、河川管理部門は、水門やポンプの操作判断に役立っている。
- 市役所

多くの実績

精度と導入の手軽さが評価され、全国の中小～大河川で活躍しています。

利用実績

鹿島建設、西松建設、西武建設、前田建設工業、国土交通省 徳島河川国道事務所、神奈川県川崎市、熊本県大津町、山形県鶴岡市、遊水池管理施設、インフラ事業者ほか、九州/北陸/関東/近畿/東北地整機発注工事

実証試験

NTT西日本、大阪府、川崎市、横浜市ほか13自治体45地点以上

学術表彰

ネイチャー・パブリッシング・グループ「Scientific Reports」にて、2020年出版論文のTop 100 in Physicsに選出など

※ 労働災害防止のためのICT活用データベース、NETIS登録済み



プラント設備機器の振動解析・疲労寿命評価

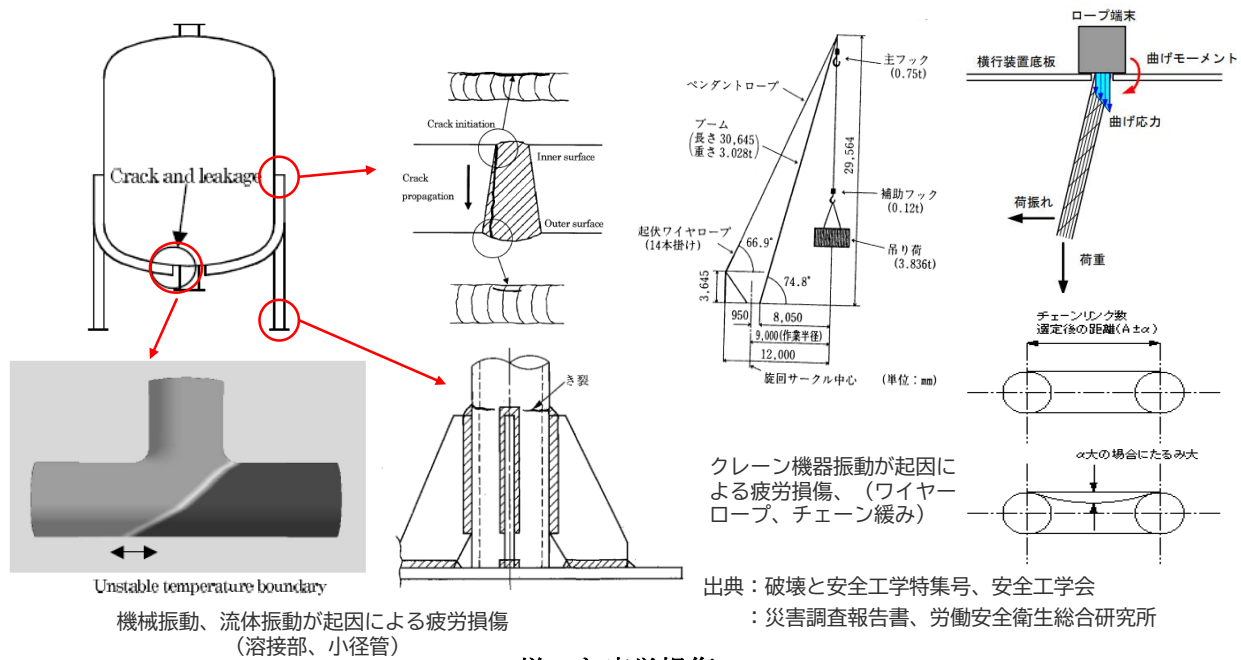
本誌47号のアラカルトでご紹介した、CAE (Computer aided engineering) による金属疲労評価解析について、プラント設備への適用を題材としてより詳細にご紹介します。

プラント設計の内、建物や配管は該当する耐震基準や設計指針に沿って設計がなされますが、設備の設計や仕様決定は、機器の特性や設置状況などを個別に考慮して、設計者が性能や強度、疲労寿命等を評価して必要性能や対策を判断していく必要があります。ここではプラント設備機器の振動解析から疲労寿命評価に至るプロセスと事例をご紹介します。

金属疲労はプラント設備のみならず、本誌内の別トピックでご紹介している「土木・建築中間領域」などでも評価が求められることがありますので、プラント関係以外の方も是非ご一読ください。

●機器の疲労損傷

科学技術振興機構の「失敗知識データベース」には、航空機、自動車、鉄道車両、クレーンなど長期間に渡り日常的に一定の同じ動きを繰り返す、あるいは振動している機器の疲労損傷事例が多く報告されています。同様に、常時稼働しているプラント設備のボイラー、配管、ポンプ、回転機器などはそれらに次ぐ頻度で疲労損傷事例が生じています。



様々な疲労損傷

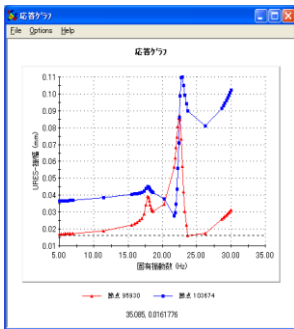
●振動解析

疲労破壊の現象は、主に応力集中部に生じる繰り返し応力 (ひずみ) レベルと荷重作用サイクル数で決まってきます。その現象を定量的に評価するとともに、その振動を抑制する対策を検討する際には振動解析が用いられます。実構造物が存在している場合、計測データを現況挙動の把握や振動解析との整合性確認に用いることもありますが、外力との共振を避け、減衰効果を高めるなどの対策検討は振動解析結果に基づいて行われます。

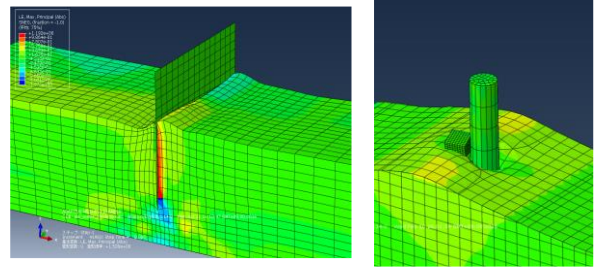
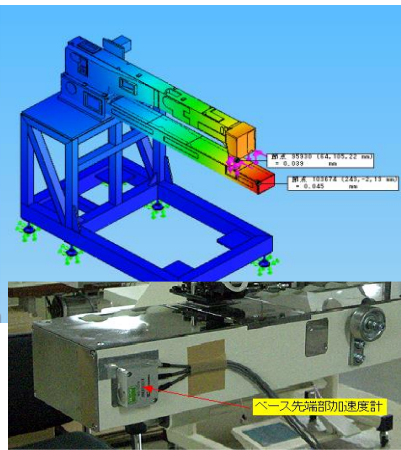
振動解析手法は対象構造物の使用環境や振動原因などに応じて、下記の様々な手法の中から適切なものを選択します。

- **固有値解析** 対象構造物の自由振動数（共振振動数）と振動モードを計算します。減衰を無視する実固有値解析が一般的ですが、無視できない場合は複素固有値解析を用います。
- **周波数応答解析（定常応答解析）** 対象構造物に周期的な変動荷重が作用した場合の定常応答状態を周波数軸で計算します。
- **時刻歴応答解析（過渡応答解析）** 対象構造物に任意の時刻歴変動荷重が作用した場合の比較的複雑な過渡応答を時刻歴で計算します。
- **ランダム周波数応答解析（風荷重、常時振動、搬送時振動など）** 瞬間の最大、最小値を議論するより統計的にみる必要がある不規則な波形の、どの周波域の影響が大きいかをパワースペクトル密度（PSD）を入力データとして計算します。

これらによる振動解析の結果図例を下に示します。



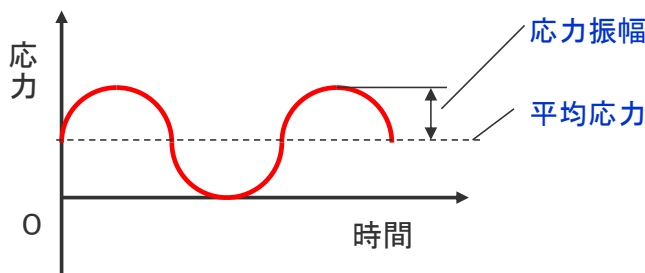
大型架台アームの
振動解析



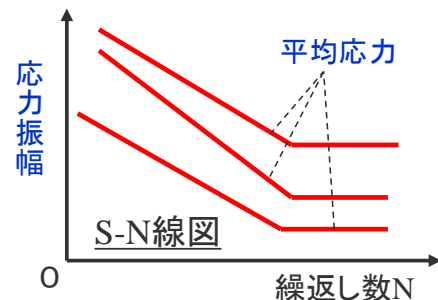
タンク内スロッシングによる
隔壁、杭の応力解析

●疲労設計手法

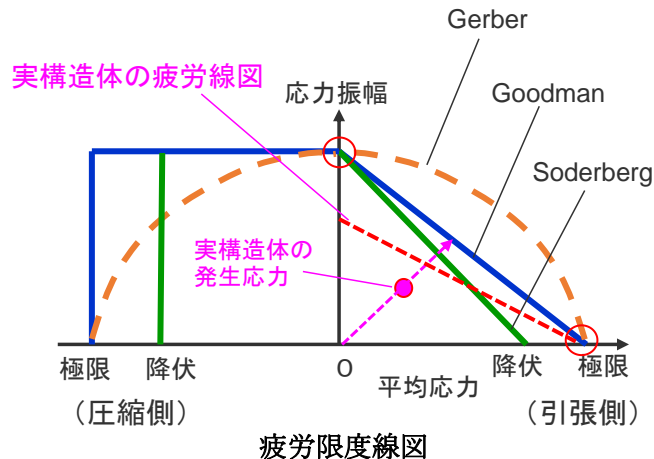
疲労評価のためにはまず、先に説明した固有値解析や振動解析または静的応力解析により、対象構造物中のどの部位にどの程度の応力変動が生じているかを把握し、応力集中傾向が大きく疲労損傷が最も早く出る可能性が高い局所または部位（**疲労破壊部**）を特定する必要があります。さらに振動解析や計測によって得られる疲労破壊部の**繰り返し応力波形**から**応力振幅**と**平均応力**を求め、疲労試験片の**S-N曲線**（一定の振幅で繰り返し負荷される応力と破断までの負荷の繰り返し数の関係を示した曲線）を元に作成した**疲労限度線図**にそれらをプロットして**疲労強度**を評価します。



繰り返し応力波形



試験片の疲労強度



ただし疲労設計便覧(日本材料学会)等に掲載されている S-N 線図は、あくまで疲労試験片のサイズ、形状、応力分布における疲労強度を表したものですから、実構造物で使用する疲労限度線図は対象物に合わせて寸法効果、切り欠き効果、表面処理効果、ばらつき等による安全率などを考慮し、試験片から得られた S-N 線図より下方修正したものである必要があります。

更に、疲労評価に使用する評価応力の定義が必要となります。設計では、下記の 3 種類の手法があります。

(1) 公称応力による疲労評価

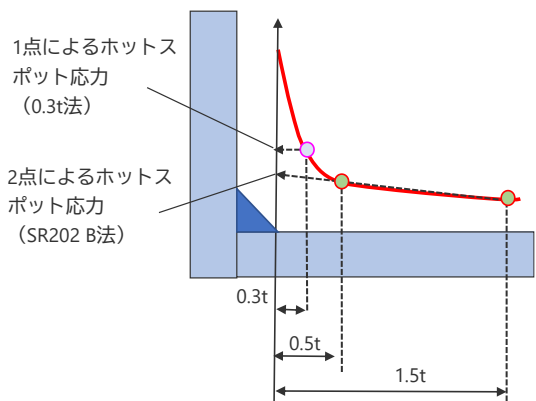
局所的応力集中を考慮しない部材断面力(軸応力、曲げ応力)から評価します。詳細なモデル化は必要なく、設計断面力から疲労評価を行うことができますが、実際の部材形状に近い条件の S-N 線図が必要となります。

簡略化された FEM モデルでの解析結果から疲労評価する場合に用いられますが、逆に形状が複雑な場合は公称応力の定義が難しくなります。

(2) ホットスポット (HSS) 応力による疲労評価

複雑な 3 次元形状モデルでの FEM 解析結果を用いて疲労評価する場合に使用します。応力集中部近傍の応力分布をメッシュの細かい詳細な解析で求め、応力集中部近傍の 1 点の応力値、または 2 点から外挿した応力値を評価応力として採用します。この場合、形状タイプ毎の S-N 線図は不要となります。

溶接部の疲労評価でよく用いられる定義方法です。



ホットスポット応力

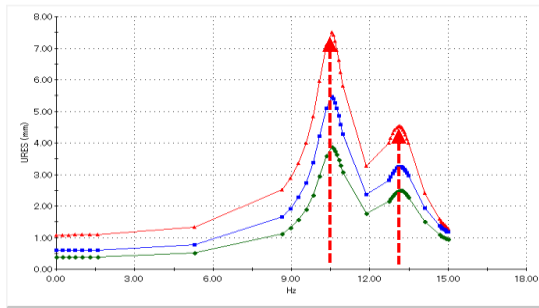
(3) 局所ひずみによる疲労評価

延性材料など、応力集中部に塑性ひずみが広く生じている場合、公称応力やホットスポット応力では評価応力が上手く定義できなくなります。この場合、応力の代わりに局所ひずみを求め、S-N 線図の代わりに E-N 線図(ひずみ-疲労サイクル数関係曲線)を用いて疲労評価をします。

延性材料や熱応力など低サイクル疲労(一般に 10^4 回以下で疲労破壊を起こす)時に使用します。

●回転翼固定リベット部の疲労強度評価事例

回転翼固定リベット部を FEM モデル化し、翼の回転速度に対する遠心力を外力とする静的な応力解析を実施して、その最大主応力を平均応力値としました。また機構解析を実施して周期的な不釣り合い力を繰り返し外力として算出し、これによる振動解析（周波数応答解析）を実施して、1次、2次共振時の繰り返し最大主応力から応力振幅値を求めました。これらの応力値を疲労限度線図にプロットして疲労強度の評価をすると共に、疲労破壊までの寿命を示す損傷率を求めています。



解析モデルとは異なります

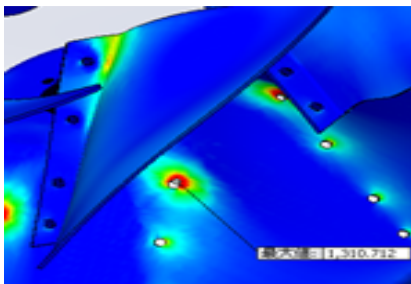
1次共振時 ピーク応力
2次共振時 ピーク応力

$$\text{損傷サイクル数} = N_1 (S_1 / S)^n$$

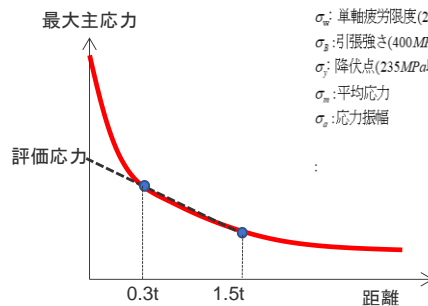
S:共振時発生応力振幅

$$\text{損傷率} \eta = \text{発生サイクル数}(=\text{共振周波数Hz} \times \text{時間s}) / \text{損傷サイクル数}$$

$$\text{損傷率} \eta = \eta_{1\text{次ピーク}} + \eta_{2\text{次ピーク}}$$

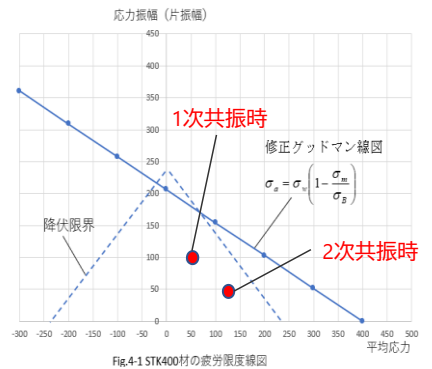


リベット接合部に発生する
応力集中の評価



ホットスポット応力
の評価

STK400材の場合
 σ_e : 単軸疲労限度(206MPa)
 σ_s : 引張強さ(400MPa以上)
 σ_f : 降伏点(235MPa以上)
 σ_m : 平均応力
 σ_a : 応力振幅



疲労限度線図による
疲労評価

●まとめ

- ・振動は疲労強度に大きく影響します。振動解析、疲労強度解析を行うことにより、構造物寿命を評価することができます。
- ・解析的な検討や評価を行うことにより、振動現象を確認しながら効果的な改善対策を検討することができます。
- ・既設構造物についても計測と CAE を融合することにより、既設将来の寿命予測、故障予知を精度よく行っていくことが可能となります。

J-DAnswer

ジョイント・段差計測システム

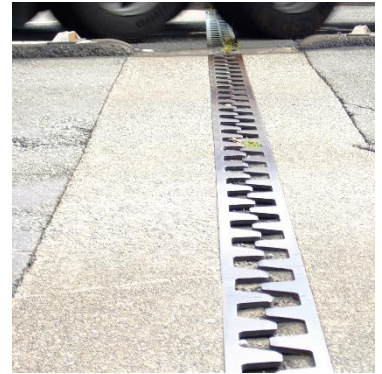
東日本高速道路(株)
中日本高速道路(株)
西日本高速道路(株)
(株)高速道路総合技術研究所
(株)構造計画研究所
による共同開発システム
特許第6666207号

GPSで
段差位置を測定

道路巡回車に取り付けて、路面の段差計測を日常点検で行うことができるシステムです。



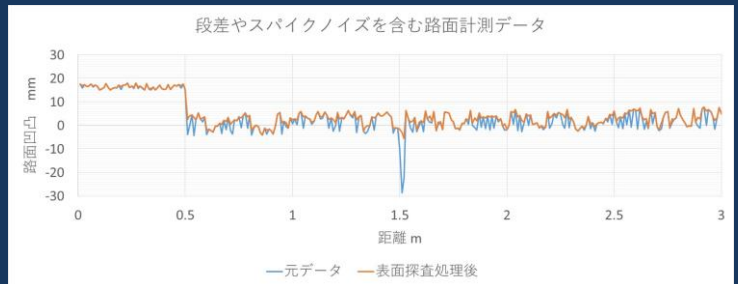
車体下に
レーザー変位計を設置



簡単操作で、業務中の操作は必要なし
タブレットに路面の測定データを保存

独自のノイズ除去技術による高精度な分析

段差の情報を残しつつ不要なスパイクノイズやジョイント継ぎ目のデータを除去
※特許第6885995号



計測データを使って2m水系法によるスクリーニング検査



長期計測で経年変化をキャッチ

路線内悪化ポイントの抽出

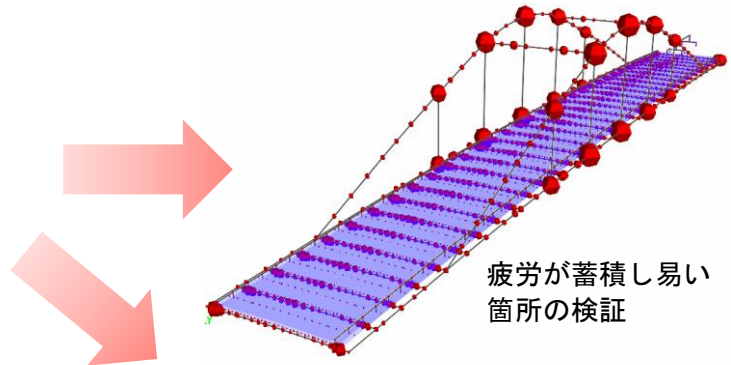
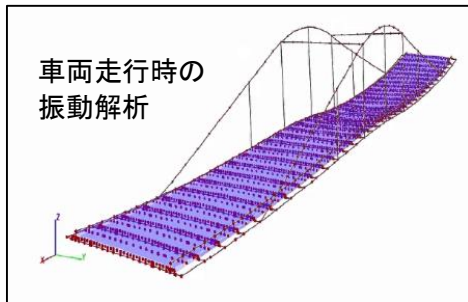


使用条件

- ・走行速度60km/h~80km/h ・GPS電波が受信できる路線
- ・降雪、荒天時は測定不可
- ・早朝、夕刻で車体下に日光が差し込むとデータが取得できない場合があります

車両走行振動解析プログラム DALIA

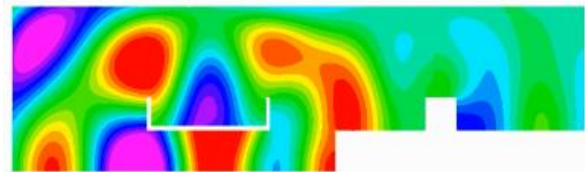
DALIA は、車両-構造物の動的相互作用を考慮した移動荷重を伴う時刻歴動的応答解析プログラム（走行解析プログラム）です。
交通振動や低周波騒音問題への対策、橋梁の疲労評価、車両の乗り心地評価などを目的とした振動予測シミュレーションを行います。



■主な適用事例

主に道路または鉄道橋を対象とした

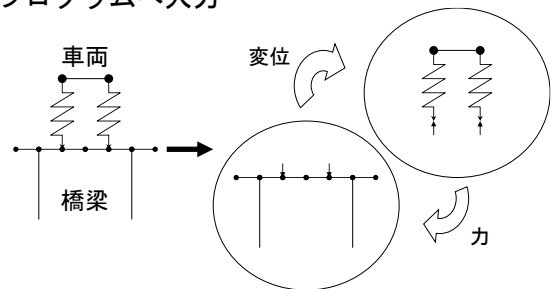
- ・車両走行時の安全性評価
- ・車両走行時の乗り心地評価
- ・車両走行時の運行計画
- ・環境振動問題
- ・繰り返し活荷重による疲労問題
- ・振動抑制デバイス設置計画
- ・モニタリングセンサー設置計画



別の低周波騒音や環境振動の解析プログラムへ入力

■解析手法

- ・地盤-構造物連成系問題で広く用いられているサブストラクチャー法を採用しています。
車両と構造を分離して各々の運動方程式で定式化し、両者が自由度間の外力と強制変位加振で連結されることで相互作用が考慮されます。
- ・道路面上走行への適用の場合は、パワースペクトル密度により路面凹凸状態を設定し、モンテカルロ法により凹凸による振動を生成してサブストラクチャー法の解に加算します。



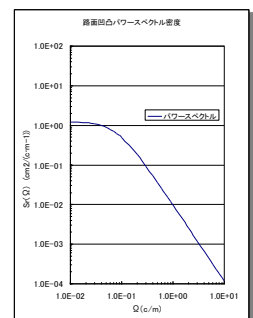
サブストラクチャー法による相互作用

■要素種別

2自由度間バネ、2自由度間ダンパー、材端バネ付ビーム要素、8点1次ソリッド要素、ミンドリン・ライスナー8点厚板要素、



道路面凹凸の設定



■出力・表示機能

- ・加速度・変位時刻歴図、バネ・ビーム断面力履歴図、固有モード図、応答変位図
- ・マウス操作による3次元ウォークスルー表示システム搭載により、入力したデータを簡単に確認することができます。
- ・解析中にリアルタイムに変形の様子を確認することができます。

水道施設耐震工法指針の改定について

日本はこれまでに多くの地震による被害を受け、それらの経験を生かして、様々な構造物の設計方法を進化させてきました。水道施設耐震工法指針も 1997 年、2009 年と改訂を繰り返し、本年 6 月には 2022 年版が公開されています。2022 年版の大きな特徴は、2009 年以降に発生した地震への教訓を反映し、最新の知見が取り入れられたことです。具体的には以下の 4 点が挙げられます。

- ① 設計フロー・要求性能の明確化
- ② 動的解析手法の推奨
- ③ 設計事例集の充実
- ④ 「危機耐性」という考え方の導入

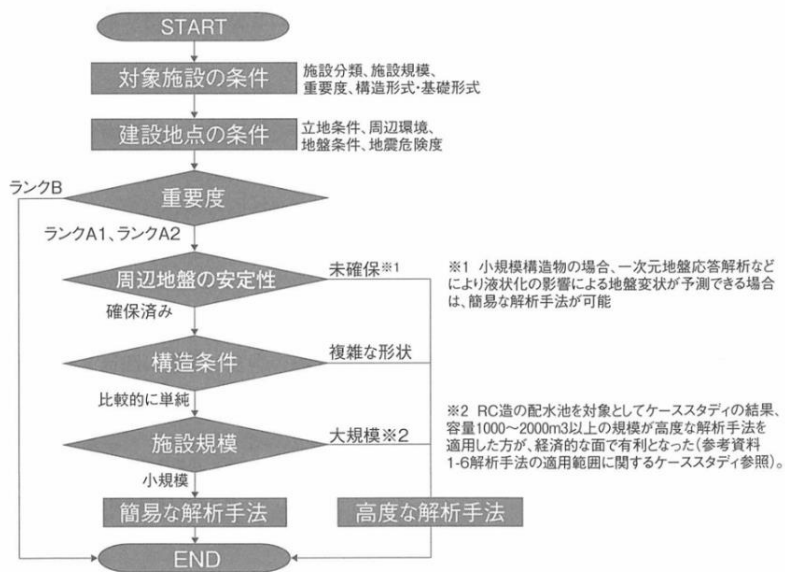
2022 年版は、設計者が判断しやすいように構造物毎に解説が示されており、フローも充実しています。また、構造物の重要度は A1,A2,B の三段階に設定され、構造物の機能や重要度により要求性能が明確に指定されており、性能規定型設計の推進が図られています。

危機耐性については 2022 年版から新たに追加され、想定以上の地震に見舞われた場合にも水道施設の機能が損なわれない対策を準備することが求められています。

特に解析手法の選定に関しては、地盤や構造物の地震挙動を精度良く評価できる手法として「動的解析の使用」を推奨しています。これまで主に使われてきた静的解析については、建設地点の地盤が丈夫である、構造物の振動性状が単純である、などの条件が揃った場合には用いて良いことになっています。

検討に用いる地震動については基本的に 2009 年版の内容を踏襲していますが、今回の改訂で動的解析が主な解析手法となるにあたり、地震動の設定は非常に重要になります。

以下では、地震動作成に関する基本事項や動的解析に関しまして紹介させていただきます。



水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版 I 本編からの抜粋 (図-3.4.1)

●地震動作成

2022年版の設計地震動については2009年版の内容をほぼ踏襲しており、「レベル1地震動およびレベル2地震動は、原則として、建設地点周辺の地震活動度、震源特性、震源から建設地点までの地震動の伝播・増幅特性を考慮し、適切に設定する」となっています。

レベル1地震動を設定する際には、「従来の方法」と「経済性照査を用いる場合」の2つの方法があり、地震危険度が高い地域で、需要施設のうち社会的影響度が高い施設については「経済性照査を用いる場合」で設定することになっています。

レベル2地震動を設定する場合は、動的解析に用いる地震動について方法1、2、3の3つの方法があり、設計には周期特性の異なる複数の地震動の時刻歴波形を用いなければならないとされています。方法1および2については、複数の地震の中で最も不利なシナリオを用いることとなっており、建設地点での地震に関する調査を行い、地震を適切な手法で評価する必要があります。また、方法2の地域防災計画等の想定地震動を使用した場合に設計用の地震動が過小評価にならないよう、2022年版では地震動の下限値が指定されています。

弊社では、建築構造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。以下、地震動評価について簡単にご説明いたします。

Step 1 地震環境調査

建設地点周辺の活断層や過去に起きた被害地震の活動履歴、国や自治体による被害想定を調査し、建設地点で最も影響が大きいと考えられる想定地震を選定します。

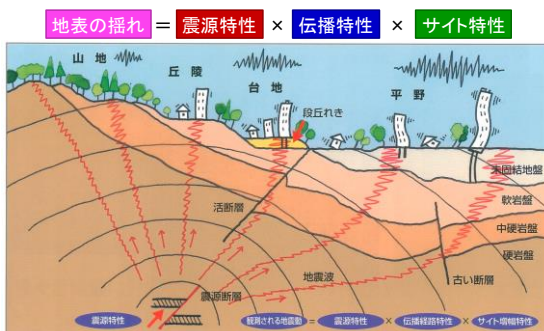
Step 2 工学的基盤面における地震動作成

地震動は震源特性・伝播特性・サイト特性の掛け合せによって表現されます。Step 1で選定した想定地震の震源断層モデルや建設地点における地下構造モデルを設定し、工学的基盤面における地震動を作成します。評価対象の構造物や地盤の周期特性も考慮して、適切な地震動作成手法を選択します。

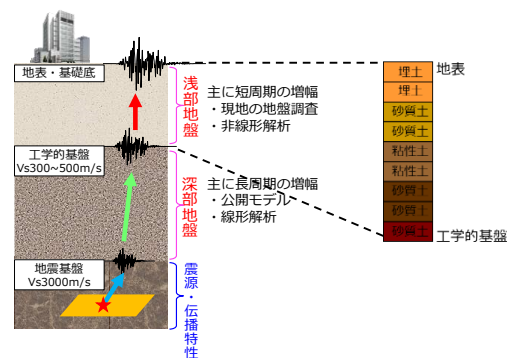
Step 3 浅部地盤の地震応答解析

工学的基盤～地表までの浅部地盤モデルを作成し、Step 2で作成した工学的基盤面における地震動を入力とした地震応答解析を行い、構造物への入力となる地震動を評価します。ここでは、ボーリング調査等の結果から、地盤物性の非線形性や液状化の影響を適切に考慮できる解析モデル・解析手法を用いる必要があります。

このように、地震動の評価には様々な判断事項があり、それぞれに工学的な根拠が求められるため、地震動に関する十分な知識と経験が必要です。



地震動伝播のイメージ図



サイト特性のイメージ図（浅部地盤）

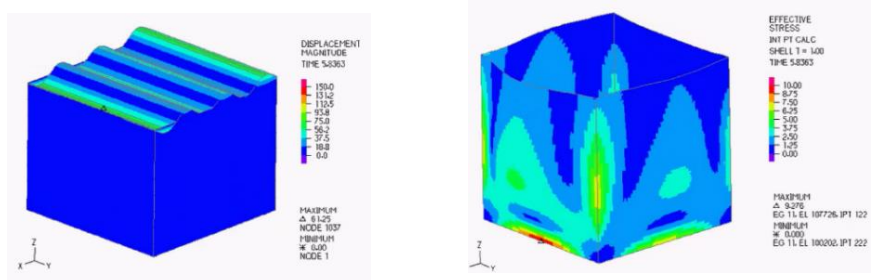
●動的解析

2022年版では、過去の指針よりも明確に動的解析の採用を勧める記述となっています。新設設計および既設設計での耐震計算法の選定フローがありますが、簡易な解析手法（静的線形解析）を選定できるのは「地盤が安定している」「構造が単純」「施設規模が小さい」などの条件が揃った場合のみで、それ以外の条件の場合は全て高度な解析手法（静的非線形解析、動的非線形解析）で評価することになります。

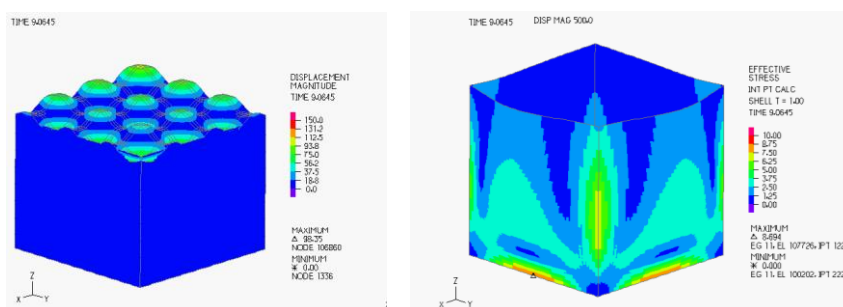
動的解析に関しましては、構造物の種類、状況、振動特性、求める応答値の種類によって、適切な手法やモデル化を選定する必要があります。実際の構造物は立体ですが、特定の断面で振動が表現できる場合は2次元でのモデル化が可能です。ただし、3次元的な挙動が無視できない場合は、立体としてモデル化する必要があります。また、地盤の影響が無視できない場合は、構造物と地盤の一体モデルとする場合があります。構造物の躯体の応答を確認したいのか、継手の安全性を確認したいのか、地盤や構造物の破壊の挙動まで追跡したいのか、などの目的により適切にモデル化する必要があります。

また、水道施設を動的解析で評価することにより、より複雑な挙動を追跡することも可能です。2022年版の中では「バルジングの影響については、内容水を流体要素としてモデル化した動的解析により考慮することが望ましい」と勧められていますが、詳しい解説がありませんでした。そこで、矩形の地上水槽（鋼製）をモデル化したバルジング挙動について試解析を行いましたので紹介いたします。

解析プログラムにはADINAを使用しました。1m×1m×1mの鋼製水槽に80cmまで水を入れ、正弦波で振動を加えました。振動方向は矩形の辺に平行な方向(0°)とそれに対して45°傾いた方向としました。



0° 方向加振時の変形図（左図：水 右図：鋼製水槽）



45° 方向加振時の変形図（左図：水 右図：鋼製水槽）

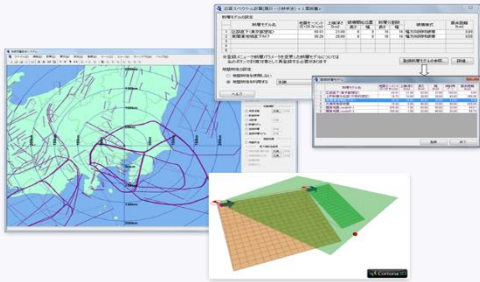
地震動により水槽内の水が揺動し、水槽の壁面も変形することで、水と水槽の壁面との相互作用が発生しています。このような現象は静的解析では考慮できず、また理論解も存在していないため、現象の把握や設計時の荷重の算出に動的解析が有効であることが分かります。

このような特殊な解析をはじめ、弊社では様々な解析ノウハウがございます。是非ご相談ください。

設計用入力地震動作成システム

Seles・ARTEQ・k-SHAKE・k-WAVE・ARTEQ-LPは、建設地点や調査地点での設計用入力地震動作成を支援するシステムです。

従来、設計用入力地震動の作成には専門知識と膨大な時間を要していましたが、Seles・ARTEQ・k-SHAKE・k-WAVE・ARTEQ-LPを用いることで入力地震動をより簡単にスムーズに作成することができます。

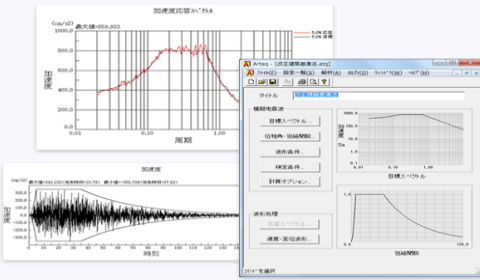


地震荷重設定システム

SeleS for Windows

建設地点における地震環境を評価（建設地点に影響の大きい震源断層の絞り込み等）任意の震源断層モデルから応答スペクトルを作成

- POINT1 GIS・豊富な地震情報 データベース
- POINT2 評価に必要な各種 計算機能が統合
- POINT3 簡単な操作で断層の 把握が可能

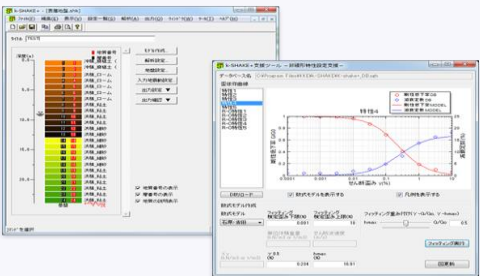


模擬地震波作成プログラム

ARTEQ for Windows

応答スペクトルから地震波形を作成

- 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

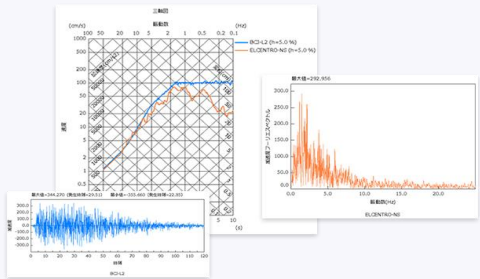


成層地盤地震応答解析プログラム

k-SHAKE+ for Windows

浅部地盤の増幅特性を考慮した地震波形を作成

- 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

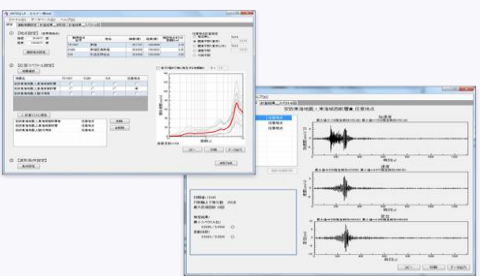


波形処理プログラム

k-WAVE for Windows

作成波や観測波などの波形データ処理

- POINT1 K-NET形式、ARTEQ・k-SHAKE+で作成した 波形等の読み込みが可能
- POINT2 簡単な操作で波形や スペクトルの重ね書き、 書式変更が可能



長周期地震動作成プログラム

ARTEQ-LP for Windows

国交省の長周期通知※に基づいた長周期地震動を作成

- POINT1 国交省の長周期通知 (H28.6.24)※に対応
- POINT2 建設地点の緯度経度より 長周期地震動の作成が可能
- POINT3 連動地震における 遅延時間を考慮した 地震動作成が可能

※超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について (平成 28 年 6 月 24 日)

画像認識技術を用いた目視主体業務の自動化

人が何気なく「あれは猫、これは車」と目に映ったものを認識するのと同じことを、カメラとシステムに代行させるのは実は易しいことではありません。車を認識した後さらに「車種、ナンバーは?」「この期間にこの範囲を何台の車が通過した?」「何らかの異常が発生していないか?」といった情報まで自動的に引き出す場合は、各目的別の認識・判定モデルも必要になります。「それなら、人が見て判定した方が早くて包括的で、確実なのでは?」という声が聞こえてきそうですが、人は人で、知識や経験や能力の差で認識や判定の精度がバラつく、疲労やうっかりから重要なものを見過ごす、大量の情報は捌き切れないなど少なからぬ弱点を抱えています。

点検、製品チェック、危険監視、見積もりなど、「名人」の目視と判断に依存しがちな業務を自動化出来ないかというご相談を頂く機会が増えています。そのご提案の際に基盤となるのが、ここでご紹介する画像認識技術です。

●ルールと学習

画像認識手法には「ルールベース」と「学習ベース」の2種類があります。対象物の特徴や良悪基準などが明確に定義（ルール化）されていて、それらと合致するかどうかを判定するのがルールベースの手法です。スマホのカメラ等で認識できるQRコードの位置検出はこれに当たります。一方、画像や映像の中から「猫」をピックアップしたい場合、種類も色も模様も多様な猫全般を、犬や豹とも区別出来るようにルール化するのは容易なことではありません。このような場合は猫の画像を大量に学習させた認識モデルに判定させる方が近道でしょう。定義された範囲なら認識率が高いルールベースがよいのか、ルール化し切れないものや曖昧性があるものの判定にも使える学習ベースがよいのかは問題によりけりです。

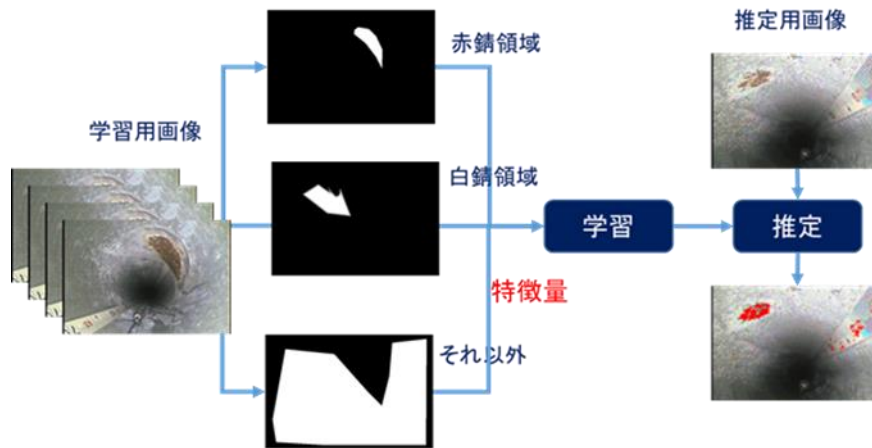
●画像認識技術の適用例

画像認識技術をベースにして目視主体の業務の自動化を支援した事例をご紹介します。

(1) 鋼管送電鉄塔内部の点検

画像認識による腐食箇所の検出と既存のルールに基づく劣化レベル算出により、鋼管鉄塔の点検業務を省力化するシステムの事例です。鋼管鉄塔の点検は部材(鋼管)の内部を撮影した映像を目視確認することにより、腐食箇所を検出し、その度合いや面積から劣化レベルを判定していました。しかし多数の部材から成る鋼管鉄塔の点検映像の数は膨大になり、その映像の目視確認の負荷や所要時間が問題となっていました。そこで目視確認により行っていた、腐食箇所の検出と劣化レベルの判定を自動化するシステムを開発しました。

人による判断をシステムに置き換える場合、従来のデータやこれまで蓄積してきた経験則との整合性が問題になることがあります。本事例では、「ルールベース」と「学習ベース」の手法を組み合わせることで、従来のデータや経験則との整合のとれたシステムを実現しました。腐食箇所の検出を「学習ベース」の機械学習手法で、劣化レベル算出を既存のルールに照らし合わせた「ルールベース」の計算方法で実現しました。その他、レポートの自動作成機能も実装し業務の効率化を図りました。

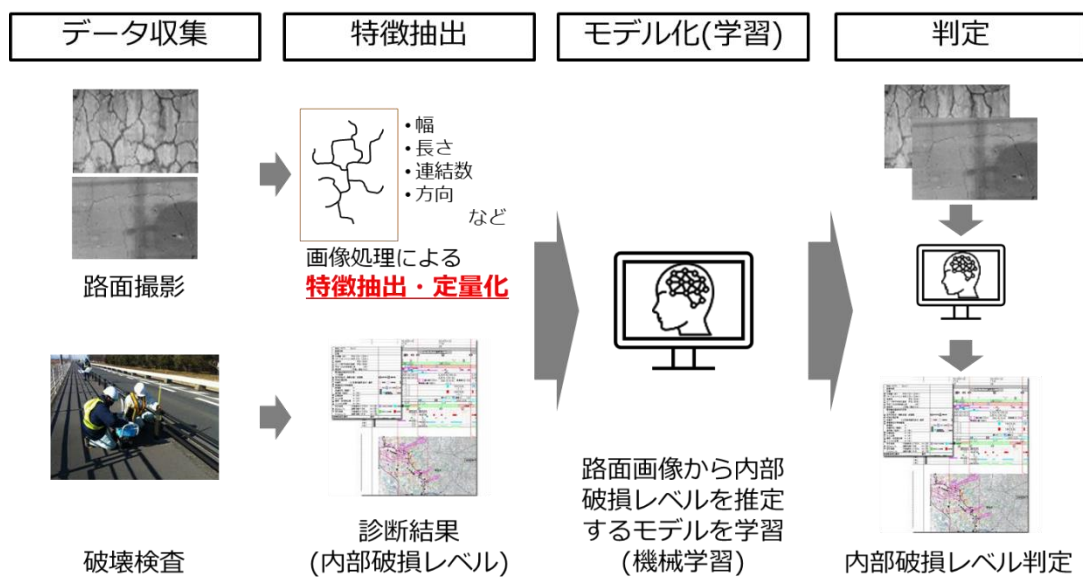


鋼管内部の腐食箇所検出手法

(2) アスファルト舗装のひび割れ検出と内部損傷状態の推測

画像認識によるひび割れ検出と路面画像からひび割れの深さを推定する手法の事例です。路面性状調査の主要な評価指標の1つにひび割れ率があります。ひび割れ率の算出のためにはひび割れ面積が必要であり、これを目視確認で実施する場合は多大な手間がかかります。そこで画像認識により路面画像からひび割れを認識しひび割れ率を算出する機能を実現しました。

またひび割れの深さの推定方法の開発に取り組みました。ひび割れの深さは補修方法の選定に関わるため、道路保全において重要な事項です。しかしひび割れの深さは切削やコア抜きといった破壊検査でしか知ることが出来ず、そのコスト・労力や交通規制が必要であることなどが課題でした。そこで路面の撮影画像からひび割れ深さ(内部損傷状態)を推定する手法を開発しました。内部損傷状態の推定は、「学習ベース」の手法により行いました。路面撮影画像と切削やコア抜きによる検査結果の組を教師データとし、機械学習により推定モデルを構築しました。データ蓄積と学習を継続しているところですが、70%以上の推定精度を実現しています。

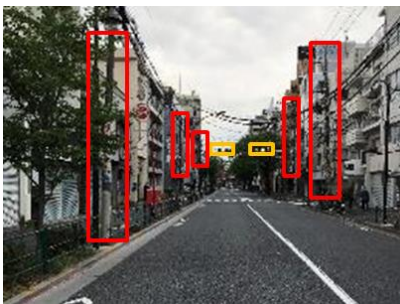


舗装内部損傷状態の推測手法概要

(3) ドライブレコーダーからの情報収集

様々な対象の認識を組み合せ目的とするシーンを認識した事例です。ドライブレコーダーの普及に伴い、ドライブレコーダーの映像を活用することも増えてきています。しかし映像の確認を目視で行っているのは、作業のスピードや負荷の問題が生じてしまいます。データの収集が容易になった分、データ蓄積のスピードが向上しているため、この問題は顕著に現れます。

一方で深層学習の進展により、映像から物体を認識することが可能になっています。これらの技術を活用することにより映像の目視確認の省力化が図れますが、多くの場合、単に対象物を見つけるのではなく、特定のシーン(工事現場、交通違反など)の検出や環境の評価など目視確認により判断したい内容は複雑です。そこで物体認識技術と画像処理技術の組み合わせにより、複数種類の対象の認識結果の分布等から目的のシーンを認識するシステムを開発しました。以下はドライブレコーダー映像からの情報収集の例です。



信号や電柱の検出例

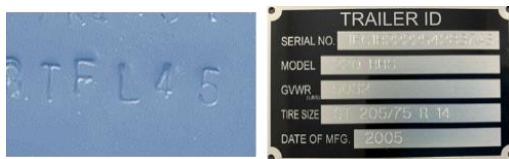
- 路面の簡易点検(ひび割れ、白線等の検出)
- 無届の道路工事の発見
- 自動車の走行環境評価
- 運転手の交通規則遵守状態の把握

(4) 機器のトレーサビリティ向上

汎用の OCR(文字認識) ツールでは対応が困難な対象に対応した事例です。機器のトレーサビリティを目的としてシリアル番号を記録する際に、手入力では読取・記載ミスが多発するという問題がありました。最初に OCR ツールの導入を検討したのですが、認識したいシリアル番号は刻印文字であり、以下の特徴が既存の OCR ツールでの認識を困難にしていました。

- 表面が反射し易い
- 刻印の深さが異なる
- 表面の塗料が異なる
- ビニール袋に入ったまま認識したい機器もある

そこで深層学習技術を用い、高速・高精度の刻印文字専用 OCR を開発しました。またスマートフォンを活用したシステムとして実装し、業務効率化にも寄与しました。



評価指標※	結果
文字検出再現率	99.9%
文字検出適合率	97.9%
文字認識正答率	98.4%
処理速度 (VGAの場合)	8.9 fps

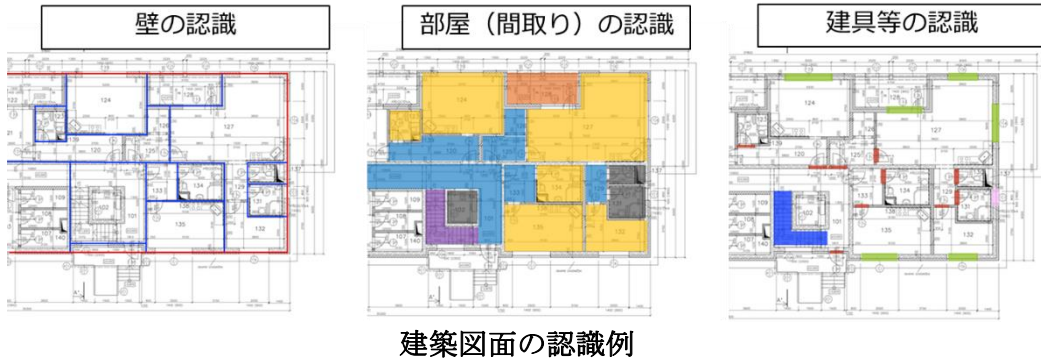
認識対象例と認識精度

●画像認識の最近のトピックス

前述した実施例のほかに、最近では下記のような新たなご要望もいただいて、取り組んでいます。

(1) 図面からの部材自動認識による見積作成業務の効率化

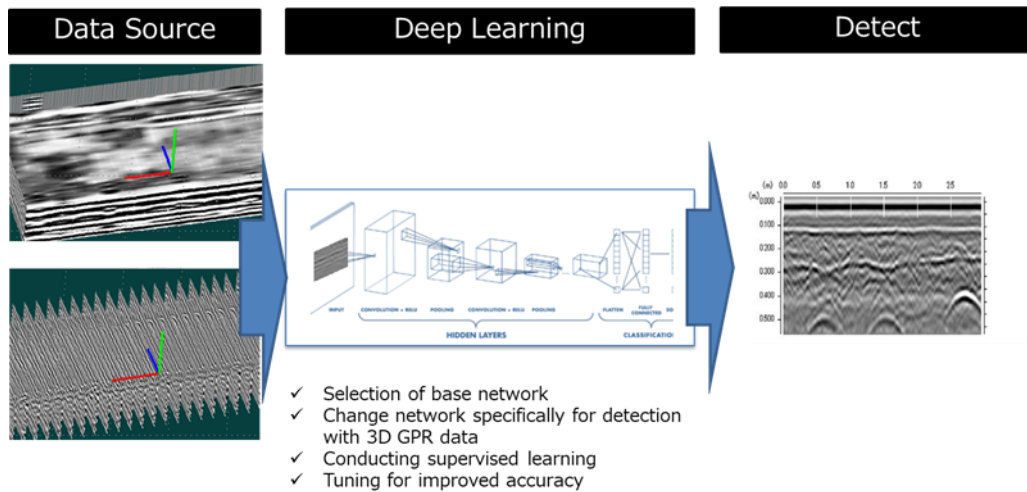
画像認識技術を用いた図面認識の事例です。様々な理由により CAD データが入手できず、紙や PDF の図面から部材を拾い上げたり、CAD 図面を起すことがあるそうです。そこで深層学習や画像処理を組み合せ、図面認識技術を開発しました。認識対象は、建築図面の場合、柱や建具(窓や扉、階段など)、壁や部屋(間取り)と目的に応じ拡充しています。この技術は、見積作成や CAD データの作成支援に活用いただいています。



(2) 地下レーダー探査からの異常箇所の検出

ここまでの事例は写真等 2 次元の画像を対象としたものでしたが、本事例はボクセルデータと呼ばれる 3 次元データの認識事例です。

路面下の空洞調査、掘削工事前の埋設管の確認やコンクリート内部の点検などに地下レーダー探査技術が用いられています。これらの探査結果は、位置・深さ毎のレーダーの反射強度の 3 次元ボクセルデータとして表現されます。空洞、埋設物や異常箇所はレーダーの反射強度が周囲と異なるため、ボクセルの断面に放物線状の特徴として現れます。しかし綺麗な放物線を描くことは稀で、曖昧な特徴を解析者が読み取り空洞や異常を検出しています。この判断には経験を要するため、人材の育成・確保と結果の平準化の課題がありました。そこで深層学習技術を用い、ボクセルデータから異常箇所を検出する技術を開発しました。現在は実業務への導入を進めている段階です。



地下レーダー探査データからの異常箇所検出

地盤と構造物の2次元動的相互作用解析プログラム

SuperFLUSH/2D for Windows Ver6.2

特長

- 1) 地盤と構造物の2次元動的相互作用解析プログラム SuperFLUSH/2D の Windows 版です。
- 2) 様々な有限要素法プリ・ポストプログラムでインターフェースが取られている MSC.NASTRAN の入力データをメッシュデータとして利用する事が可能です。
解析結果を MSC.NASTRAN の解析結果ファイル形式でエクスポートする事も可能です。
- 3) 波形図、応答スペクトル図、伝達関数図などの解析結果図を簡単な操作で作成可能です。
- 4) 国際単位系でのデータ入力や解析結果の図化が可能です。

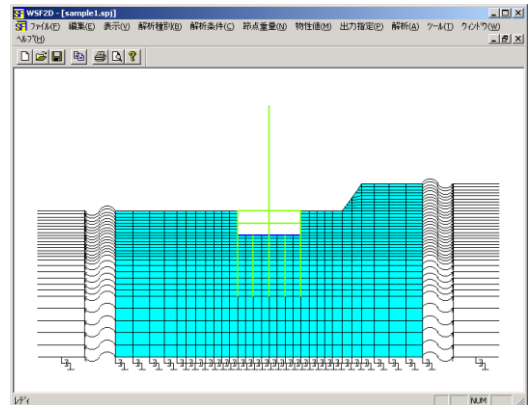
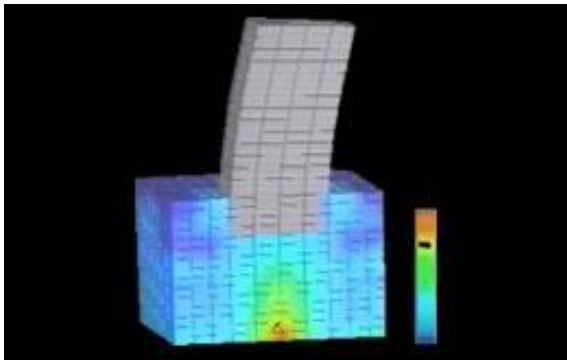
機能概要

- ・複素剛性を用いた振動数領域における複素応答解析
- ・等価線形法により地盤の非線形性を考慮
- ・要素タイプ
平面歪要素、ビーム要素、剛体ビーム要素、平面応力要素、並進ばね要素、ジョイント要素、ダッシュポット要素
- ・側方境界条件
エネルギー伝達境界、粘性境界
- ・底面境界条件
粘性境界、固定境界
- ・外乱条件
鉛直伝播波動(水平方向、鉛直方向同時入力可能)、進行波、点加振
※液体要素、回転ばね要素を用いた解析、擬似3次元解析も、支援ツールを利用して解析可能

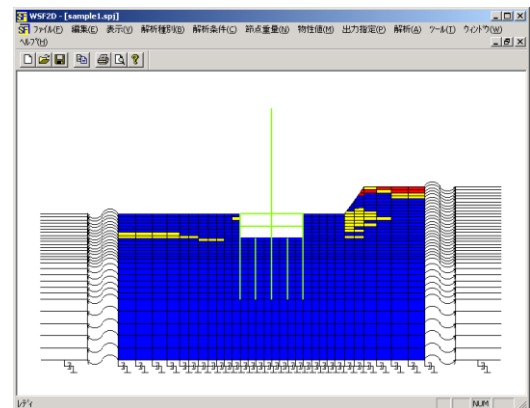
出力項目

以下のファイル形式で解析結果を出力する事が可能です。

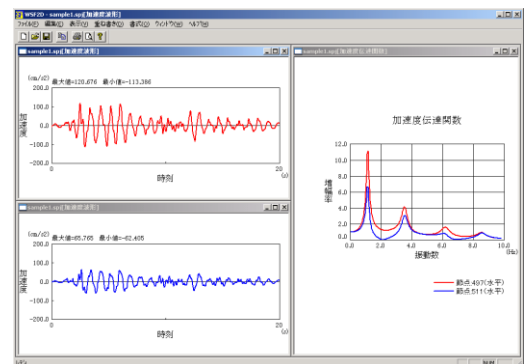
- ・CSV形式(時刻歴、伝達関数、応答スペクトル)
加速度、速度、相対変位、応力、歪、ビーム断面力
- ・MSC.NASTRAN 解析結果ファイル形式
加速度、速度、相対変位、応力、歪、ビーム断面力の最大値出力



基本画面



収束誤差の出力



解析結果の表示例

SuperFLUSH/3D

サブストラクチャ法による3次元動的相互作用解析プログラムです。地盤の半無限性を「薄層要素」により考慮することで、効率的で高精度な解析を実現しています。

SuperFLUSH/2D、SuperFLUSH/3Dは株式会社構造計画研究所と株式会社地震工学研究所との共同開発商品です。

表記の社名及び製品名等は、各社の登録商標または商標です。

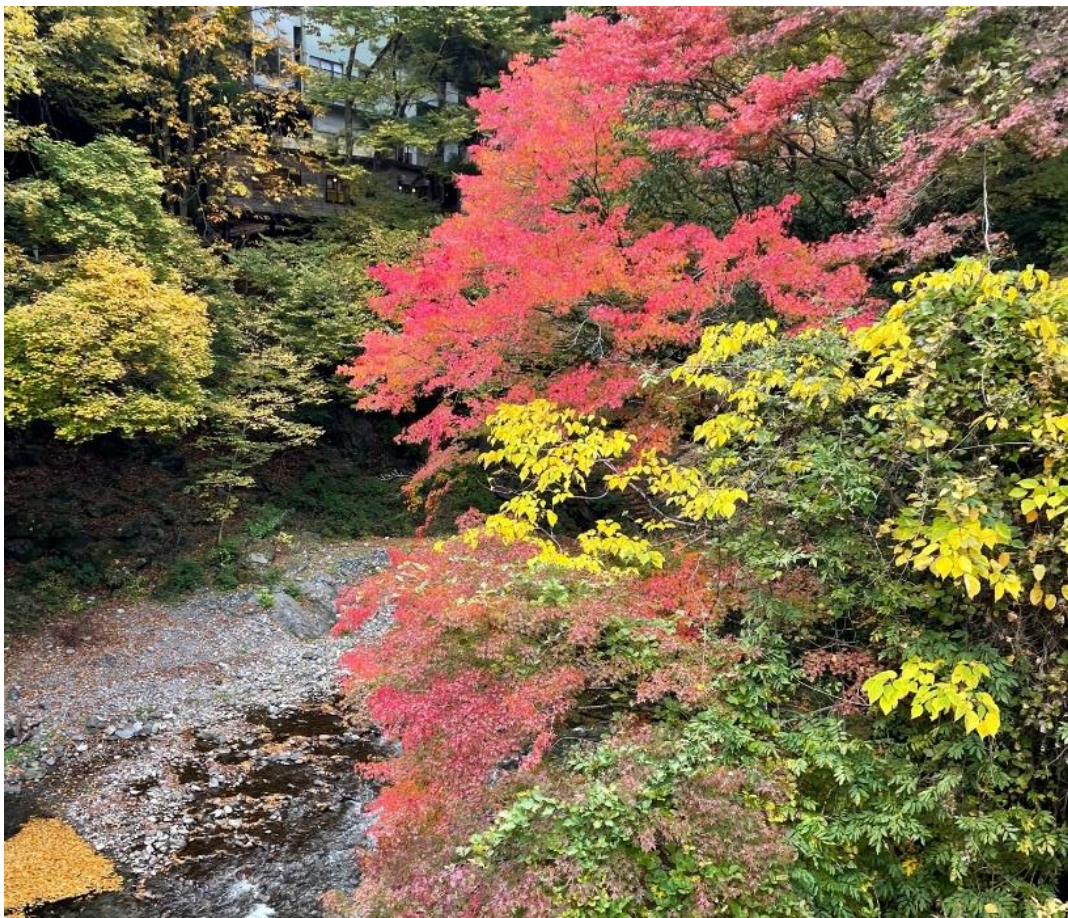
WindowsはMicrosoft Corporationの登録商標です。MSC/NASTRANは、エムエスシーソフトウェア株式会社の登録商標です。

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

毎年厳しい残暑の直後に急に冷え込み、日本の季節から秋が無くなったのかと疑うほどでしたが、今年は過ごしやすい日も多く、久々に秋を感じています。以前よりも気軽に外出できるようになり、幾分心に余裕ができたのかもしれませんが。ただし、年末に向けて寒くなるとともに、益々忙しくなります。要所では気を緩めず、体調万全で乗り切りましょう。

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.48 2022.11*

発行日 2022年11月30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