



シビルエンジニアの
Infrastructure
for the
Next Generation 図鑑

ISBN 978-4-906608-35-5
C3051 ¥2700E

定価 2,970円 本体2,700円

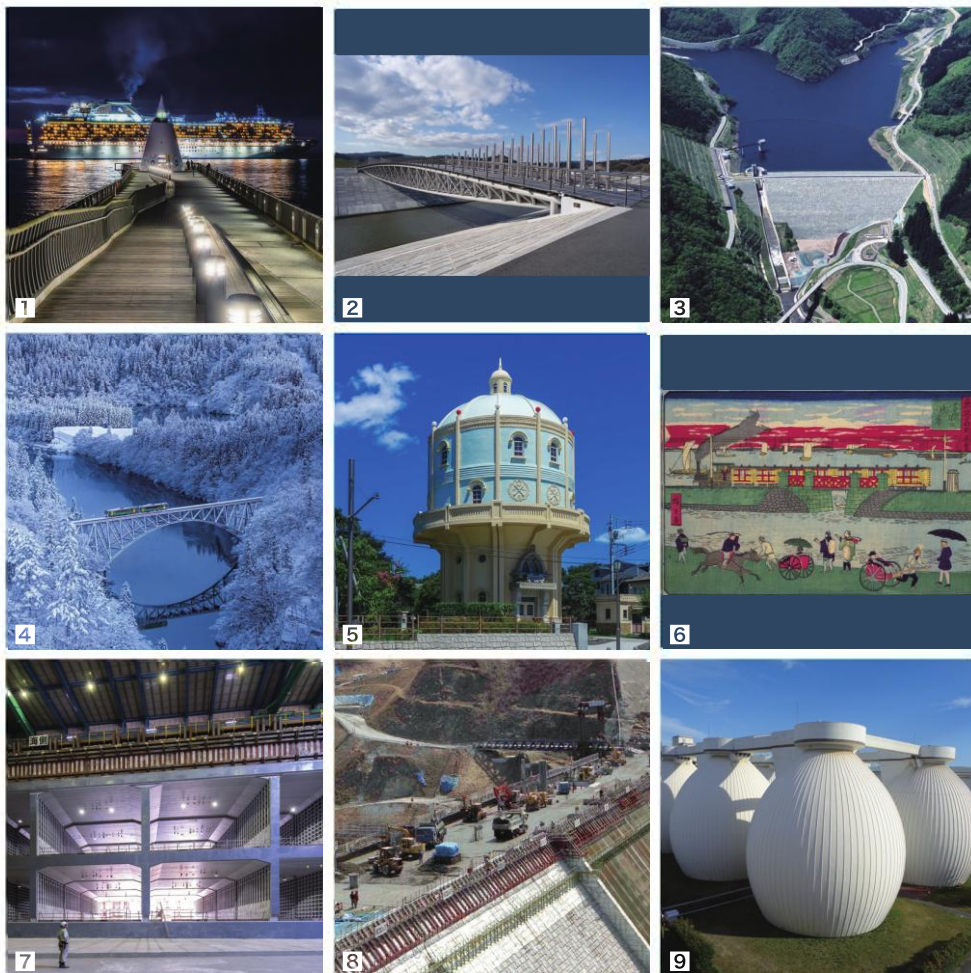
発行 フォーラムエイトパブリッシング
発売 フォーラムエイト



フォーラムエイト
パブリッシング

1.1 日本列島各地に供用されたインフラ施設

1.1 日本列島各地に供用されたインフラ施設



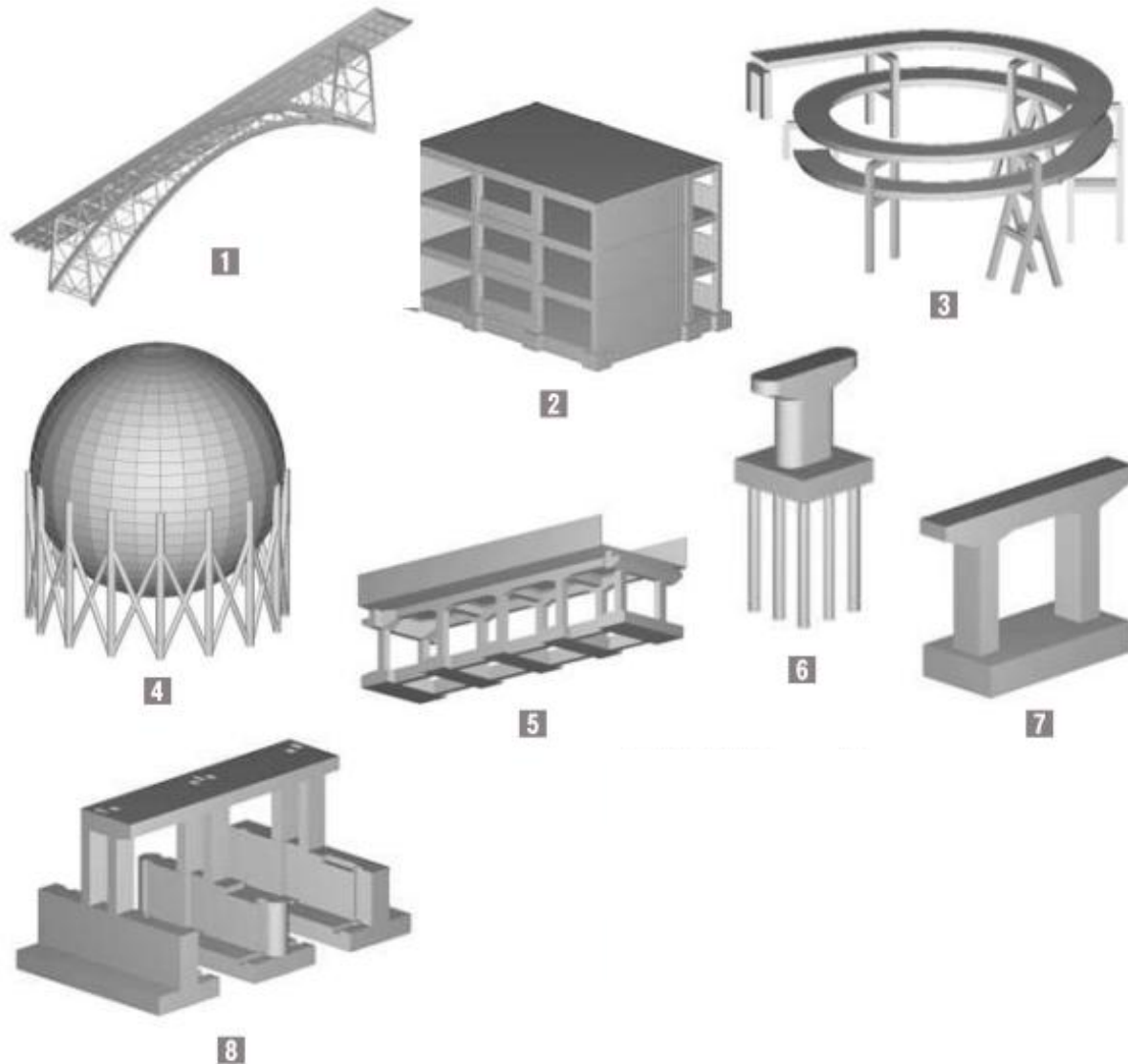
1. 青森港新中央埠頭（東北唯一の客船専用の岸壁）
【東北観光推進機構】
2. 南三陸の復興の架け橋「中橋」
（設計者：パシフィックコンサルタンツ・隈研吾建築都市設計事務所設計共同体）
【牧村あきこ】
3. 山形県 綱木川ダム（多目的ダム・ロックフィルダム）
【山形県県土整備部】
4. JR只見線 第一只見川橋梁（土木学会選奨土木遺産）
【東北観光推進機構】
5. 水戸市水道低区配水塔（ゴシック風装飾が特徴） 【PIXTA】
6. 文明開化の象徴 鉄道高輪築堤 【国立国会図書館サーチ】
7. 東京外環自動車道 京成菅野アンダーパス工事
【アンダーパス技術協会】
8. 四万川ダム（堰堤工事にはRCD工法が採用された）
【安河内孝】
9. プレストレストコンクリート製卵形汚泥消化タンク
【横浜市北部汚泥資源化センター】

1.5 土木と建築どう違う？

境界はあいまい			
対象施設	計画・意匠 grand design, architecture	構造設計・耐震設計 structural design seismic design	建設・施工 construction
いわゆる土木 Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> ・国交省などの行政機関 ・地方自治体 ・建設コンサルタント 	<ul style="list-style-type: none"> ・土木技術者（技術士） ・civil engineer 	<ul style="list-style-type: none"> ・土木技術者（技術士） ・現場代理人 ・civil engineer
いわゆる建築 Architecture	<ul style="list-style-type: none"> ・建築家/建築士 ・architect 	<ul style="list-style-type: none"> ・建築設計士 ・architect ・civil engineer 	<ul style="list-style-type: none"> ・建築技術者 ・建設技術者 ・civil engineer
資格/制度	<ul style="list-style-type: none"> ・技術士制度（10部門） ▶9. 建設部門/10. 上下水道 ・建築士（資格試験） ▶一級建築士、二級建築士、木造建築士 		

次に、土木と建築の比較を、「計画・意匠」,「構造設計・耐震設計」,「建設・施工」の3つの観点から表にまとめた。関連する「資格・制度」なども代表的なものを付記し、また、英語表記（多くが英語由来なので）を併記した。「土木と建築どう違う？」は、シビルエンジニアリングを語る上で根源的な議論であり、本書の記事を契機として、再度建設的な議論を復活させたい。

2.1 ソリッドモデルで、構造物のメカニズムを掴む



- 1 上路式鋼アーチ橋
- 2 鉄筋コンクリート造3層建築建屋
- 3 2重ループ橋（道路橋）
- 4 鋼製ガスホルダー
- 5 ラーメン高架橋（鉄道施設）
- 6 梁・柱・基礎杭で構成される橋脚
- 7 門型ラーメン橋脚（この上に上部工がのる）
- 8 2径間防潮堤水門（河川施設）

2.3 橋梁入門講座：断面形式と全体架構

(c) 難解な橋梁スペックを読み解く

3. 関越自動車道 片品川橋 (1985年供用開始、2016年耐震補強)



- ・上部工は3径間トラス橋3連で構成され、半径1,000～2,000mの曲線を描く(曲線橋)。
- ・形式：鋼3径間連続上路トラス橋3連(主構高14m～25m、上下線一体)
- ・橋長1033.85m(A橋264m、B橋404.35m、C橋365.5m)
- ・下部工：矩形中空断面の鉄骨鉄筋コンクリート橋脚

4. 初代西海橋(1955年供用)と併走する 新西海大橋(2006年供用)



- ・形式(主橋部)：鋼中路ブレースドリブアーチ橋(橋長300m)
- ・形式(入江部)：PC4径間連続ラーメン箱桁橋(橋長320m)
- ・特記：桁下にバルコニー付きの添架歩道を併設
- ・初代西海橋(上路式道路橋、1955年供用)と新西海大橋(中路式道路橋、2006年供用)が併走している。

5. 群馬県長野原町 丸岩大橋 (ハッ場ダム湖面3号橋)



- ・形式：PC5径間連続Y脚ラーメン箱桁橋(全長442m)
- ・5径間の支間割：64.9m+100.0m+110.0m+100.0m+64.9m
- ・特記：Y脚ラーメン構造の採用(P2,P3橋脚)により、PC箱桁断面の桁高を抑えることができた

【画像 木村健太郎】

6. 江戸川放水路水管橋(独立水管橋) (管理者：千葉県知事、水道局)



- ・橋種：水管橋(直径1mの水道管が2本通っている)
- ・形式：3連ランガートラス構造
- ・桁構造：3パイプランガー補剛パイプビーム
- ・水管橋の型式：独立水管橋(水管橋を単独で架設)、および添架水管橋(道路や鉄道などの橋梁に添架する)に大別できる。

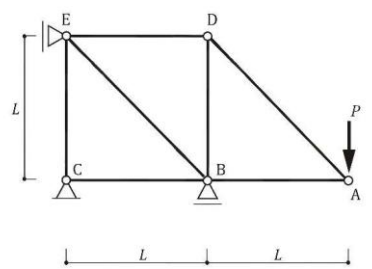
【画像素材：PIXTA】

2.4 直観力学のススメ：構造解析のための準備運動

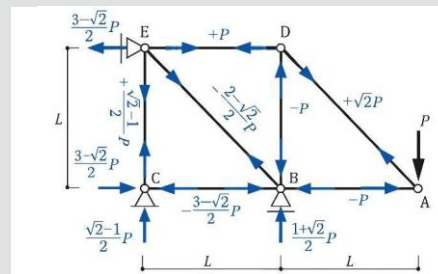
大学課程・高専課程では、構造解析や耐震設計の準備段階として、トラス、梁、ラーメン部材の力学を学習する。ここで、やや難解な構造理論が未消化となることが多く、直観力を身につけることをお勧めしたい。

そこで、“直観力学”を醸成するための図/画像/イラスト/演習問題を揃え、以下に示した。

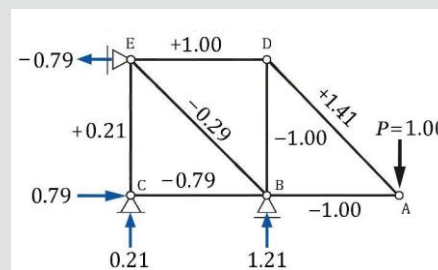
1. トラス構造 cantilever truss



演習問題の設定：鉛直荷重Pを受けるトラス構造



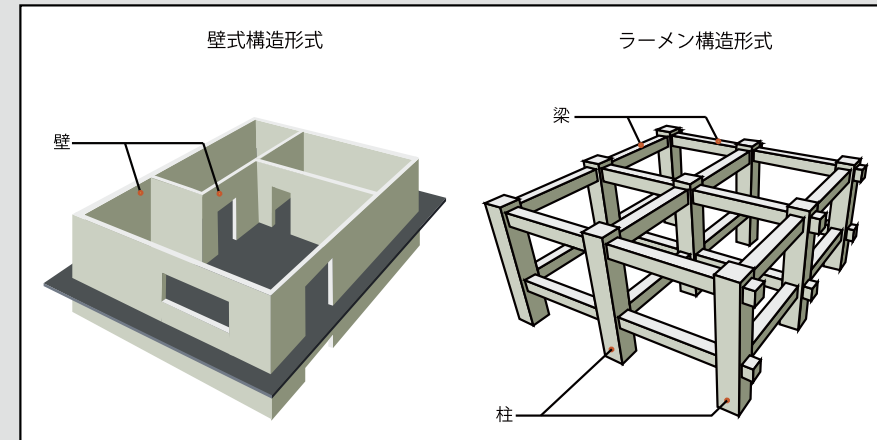
解答その1：軸方向力図（解析解）



解答その2：軸方向力図（P=1として数値で示している）

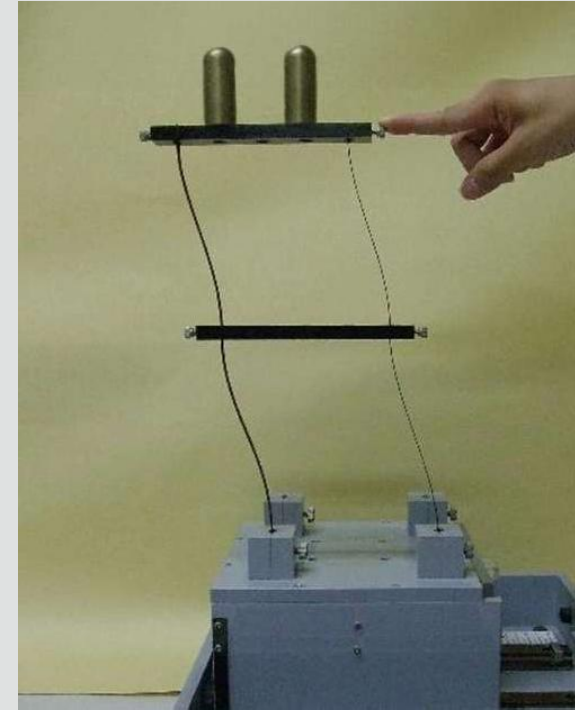
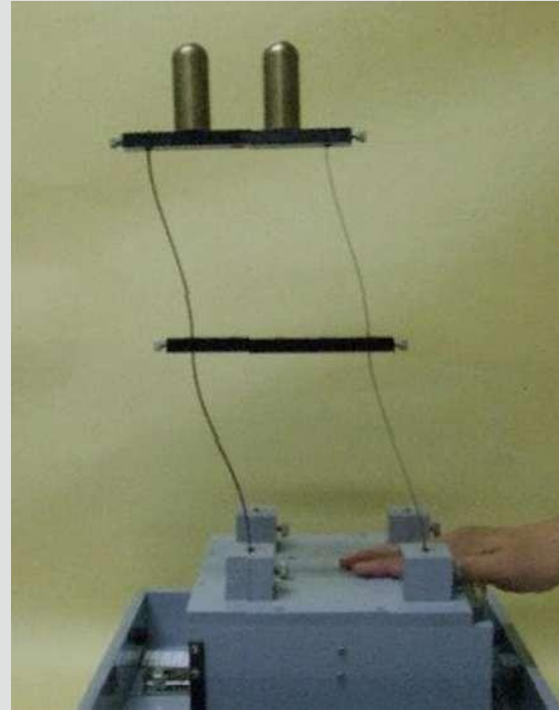
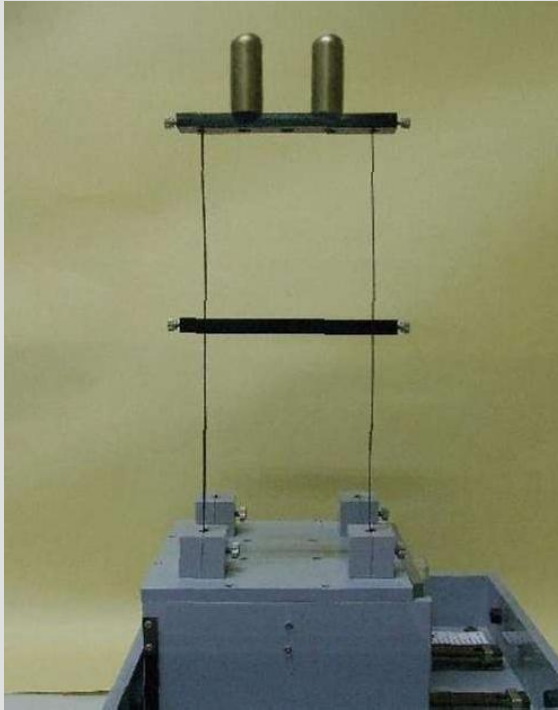
5. 建築建屋における2つの耐震構造（俯瞰的3次元イラスト）

（左）壁式構造：地震力（水平力）に対しては、主として壁部材の面内方向にて抵抗する。（右）ラーメン構造：梁柱剛結構造なので、筋交いや耐力壁を必要としない。いずれの場合も、地震荷重（水平荷重）を受けた場合の耐荷メカニズムを、図を見ながら頭の中で巡らすことが大切。



2.4 直観力学のススメ：構造解析のための準備運動

7. 体で感じる静的応答と動的応答



(左から順に)

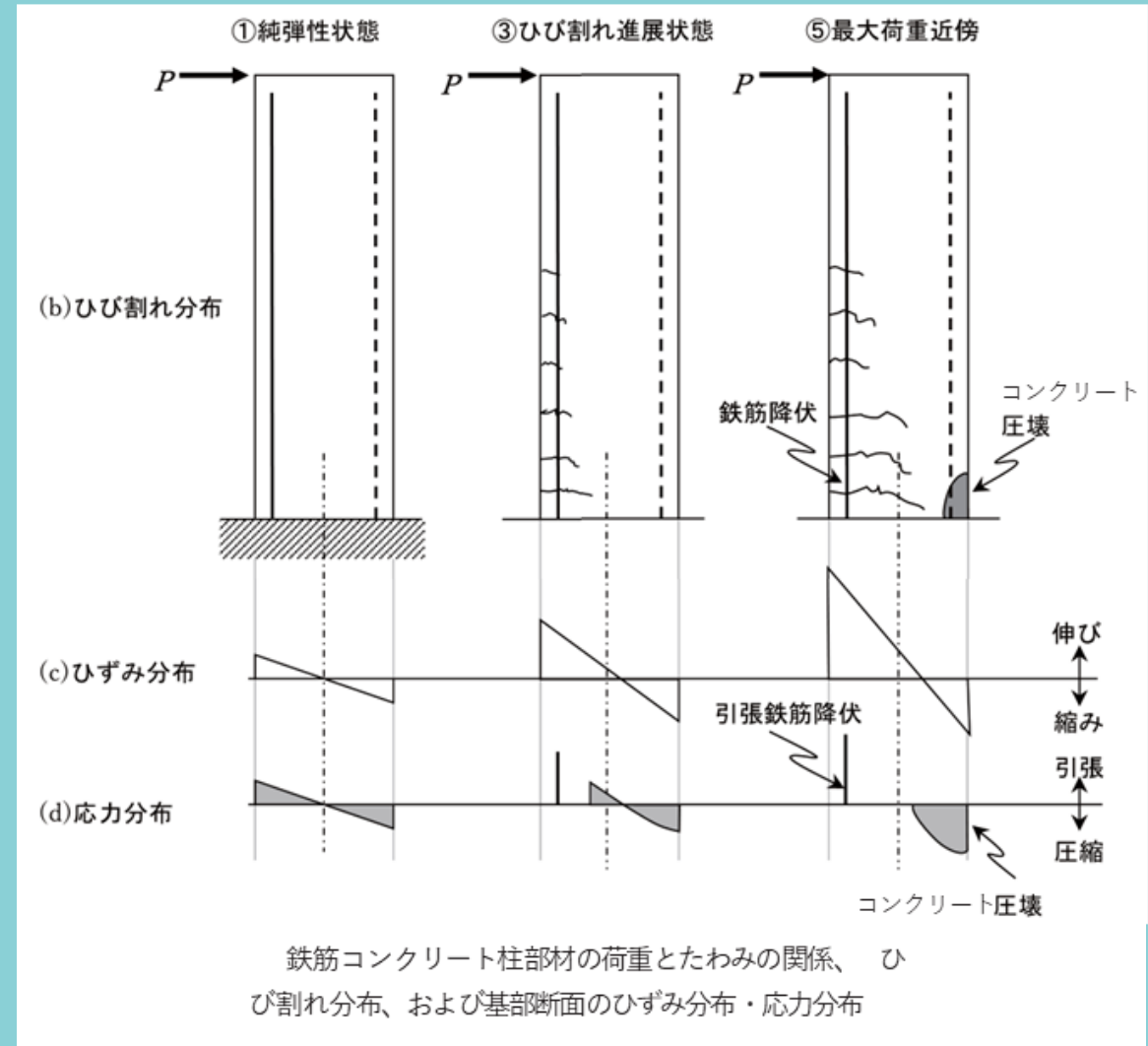
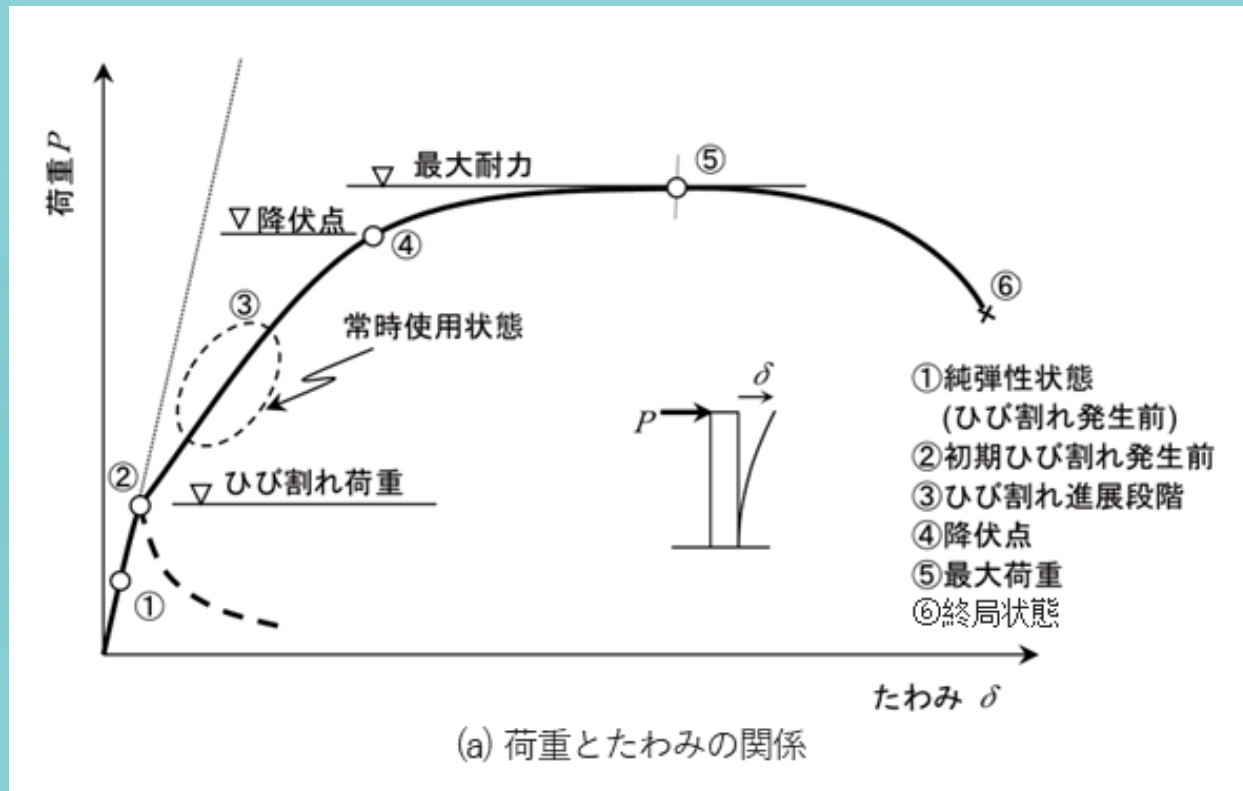
写真a：静止状態（鉛直荷重のみ作用）

写真b：振動中（手で揺らしている⇒動的応答）

写真c：静的荷重（頂部を指で押している⇒静止状態）

3.2 柱部材の非線形挙動（水平荷重 P と水平変位 δ の関係）

–図を読む力を身に付けるPart2–



3.3 構造設計の設計フローを一覧する

入力

形状
材料
基礎
部材
荷重
準拠基準

はり主鉄筋

設計対象
☒ 左側より部材 ☒ 右側より部材
☐ 左側よりで異なる配筋を設定する ☐ はり幅先端部より上下部ピンチを固定する
 (はり配筋(左右対称共通))
 上面主鉄筋 幅 2500mm
 鉄筋は側面主鉄筋のかぶりと同じとする

かぶり	径	縁端	配筋
150	D32	150	200×120 150×200
250	D32	150	200×120 150×200

下面主鉄筋 幅 2500mm ※縁端は上面主鉄筋の1/2目を円内部生成します
 かぶり 150 mm 径 D29 縁端 150 mm
 配筋 200×120 150×200

側面主鉄筋 高さ 2500mm ※コーナーと判定される場合は側面用心鉄筋として考慮
 かぶり 150 mm 径 D29 上縁端 300 mm
 配筋 110 150
☐ 側面用心鉄筋を直接指定する
 鉄筋量 0.0 mm² 最大間隔 0 mm

※下面山所れの場合は、鉄筋配置の基準位置がよりの下面山所れ位置となります。

左側より | 右側より |

☐ 単接合部の配置を行う
 はり
 前部部材(m) 0.000 柱
 後部部材(m) 0.000
 内側部材(積時の有効部材(m)) 0.000 内側部材(積時の有効部材(m)) 0.000

[illegible][illegible]

3.5 建設工事から学ぶ橋梁工学

建設中の橋梁工事写真（上部工や下部工）を見ることで、橋梁エンジニアは有用な知見を広げることができる。ここでは、『全国土木施工管理技士会連合会主催 工事写真コンテスト』の入賞作品や優秀作品をお見せしたい。土木愛好家の視点とカメラテクニックによって、橋梁工学の新たな学びがあることは間違いない。それはまた、日々成長する橋梁に対する“期間限定の橋梁萌え”の瞬間でもある。

7.第12回優秀賞『橋桁の吊り上げ架設に向けて』（入賞者 笠井忠さん）



〔入賞者の写真説明〕

通行車両の荷重などで橋桁が沈下した橋梁を、3年間通行止めにして架け替える、阪神高速松原線橋梁大規模更新工事。工事は終盤で、橋桁を一夜にして吊り上げる架設工事が、一般道も通行止めにして行われました。写真は通行規制がはじまった一般道の歩道からの撮影で、橋脚から伸びる橋桁の吊り上げ設備が夜空に輝く姿が印象的で、工事の様子を見学できる最後の機会になりました。

〔選評〕

交通規制が終わって、さあいよいよ桁の架設。よく見ると桁の上にはおそらく架設される桁やクレーンを見つめる作業員の真剣なまなざしが見て取れます。嵐の前の静けさといった静寂の中にも緊張感にあふれた作品です。あと何時間か待機して架設される桁の一部でも画面の右上に入っていれば動きのある素晴らしい作品になったことでしょう。

8.第12回最優秀賞『工事も収穫も急ピッチ』（入賞者 伊藤良一さん）



〔入賞者の写真説明〕

第2東名川内川橋工事。工事現場近くまで茶畑が広がり収穫が急ピッチで行われていました。

〔選評〕

迫力と緊張感のある橋梁架設風景の手前では初夏の日差しを浴びて地域名産の御殿場茶の収穫の真最中です。なにげない茶摘み風景の背後に巨大な橋を建設中というコントラストが素晴らしい作品。もう少し望遠で茶葉と農家の方々に近づいて背後の工事風景と上下半々の比率のレイアウトでしたら、異空間の融合といった面白い作品になったかもしれませんね。

【出典 全国土木施工管理技士会連合会主催 土木工事写真コンテスト】

<https://sas.ejcm.or.jp/jcm/general/photo/photoContest>

【全国土木施工管理技士会連合会 HP】

<https://www.ejcm.or.jp>

Session4

饒舌多弁

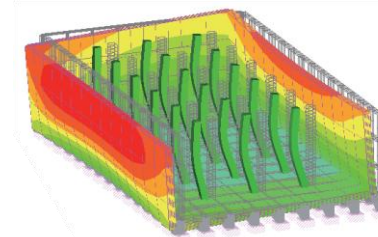
有限要素法が誘うエンジニアリングの醍醐味

-FEMは構造エンジニアにとって無二の相棒-

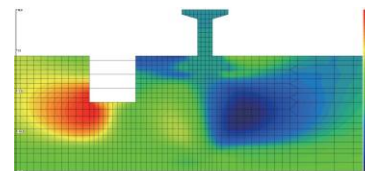
“あ～、なんて美しいんだ!”。納期に多忙をきわめる構造エンジニアもふと手を休める時がある。合理的に設計された構造物は、美的にも優れている。それは古来よりシビルエンジニアやアーキテクトに伝承されている構造工学的センスに他ならない。それを解析や設計にて享受できるのが、近代の有限要素法である。

多くの構造解析と構造設計に用いられる有限要素法 (FEMと記す) は、対象とする構造物を要素分割し、荷重や変位など外的作用を与えたときの数値解を求める手法。設計段階にある構造物をコンピューター上に再現し、その構造性能 structural performance を解析する手法である。

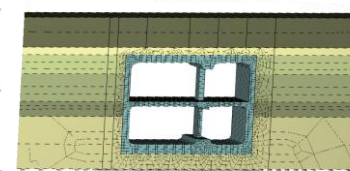
本Sessionでは、FEMの有用性と醍醐味、ときにその美しさを味わえる7つの事例を採りあげ、解析結果の見かたや工学的判断なども付記している。これらは、社会インフラの構築に用いられる多様な構造形式を包含していて、FEMの出力 (ポストプロセッサ) によりその構造美を際立たせることができる。



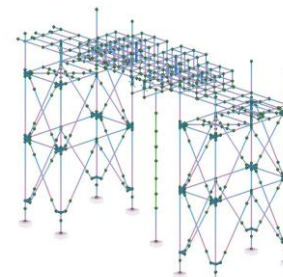
池状構造物



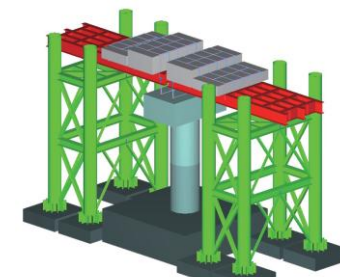
近接影響検討



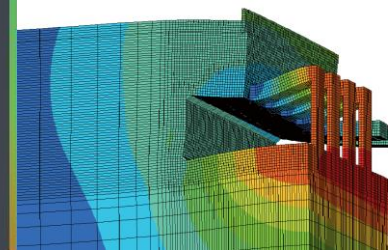
地下鉄ソリッドモデル



Eディフェンス (骨組み)



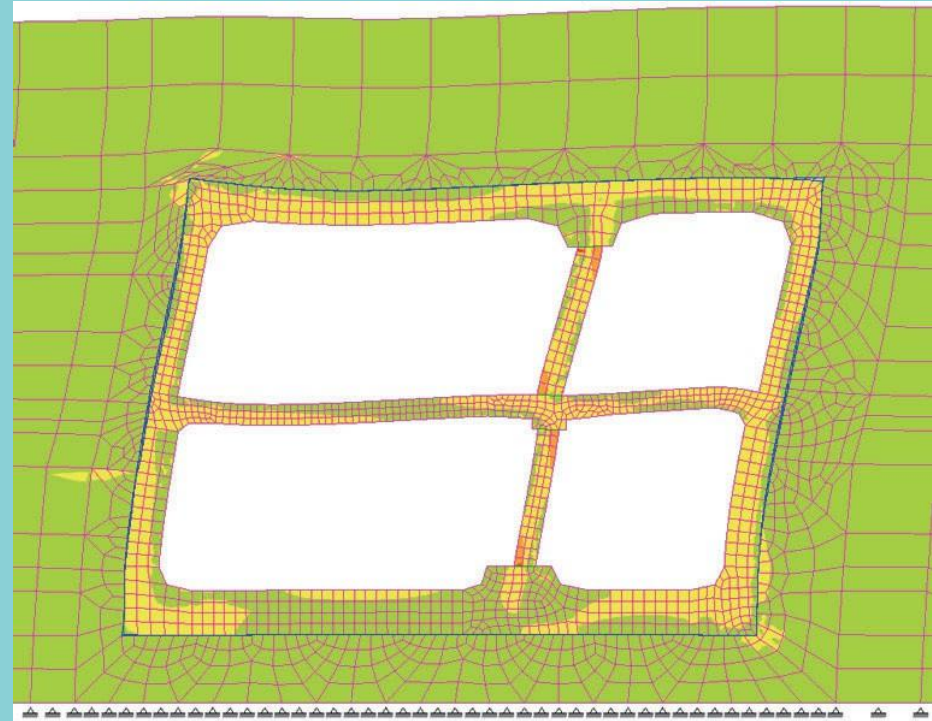
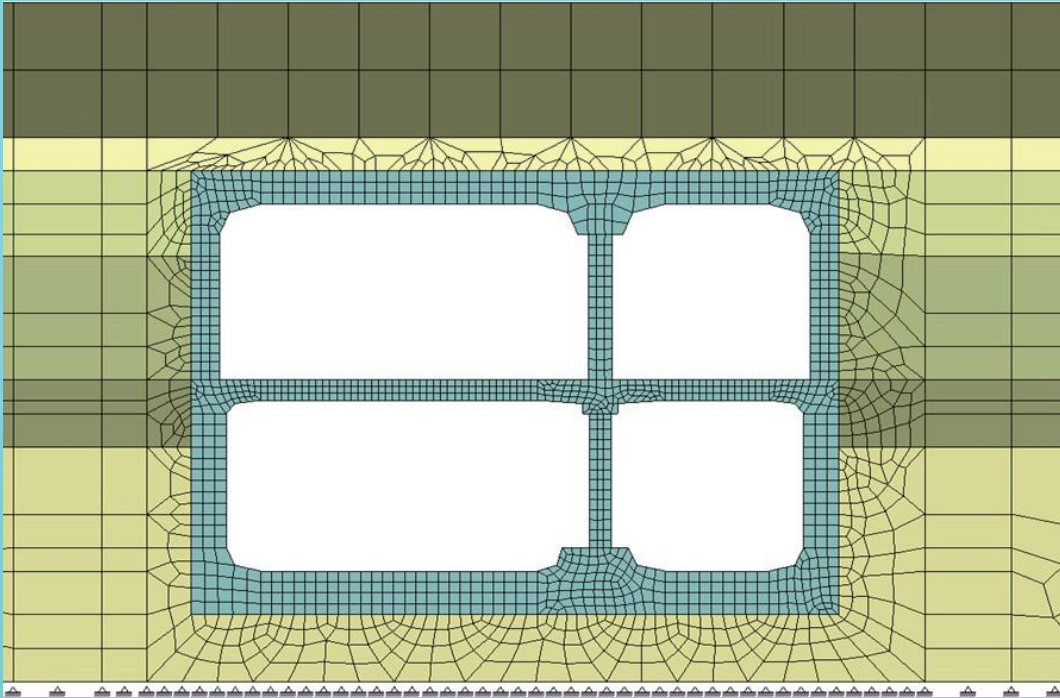
Eディフェンス (ソリッド)



ボックスカルバート (ストラット変形)

多量多様の FEM モデルおよびポストプロセッサによる出力結果の表示は、構造解析や構造設計について多くのことを物語る。それ故、FEM は構造エンジニアにとって無二の相棒であり、次世代におけるワクワクとドキドキでもある。

4.1 地下鉄駅の2次元非線形動的解析



上下2層構造の地下鉄駅（鉄筋コンクリート製のボックスカルバート構造）とその周辺地盤をモデル化したもの。上画像が常時の状態（自重や土圧が作用している）で、下画像が地震荷重により激しく横揺れしている状態（節点変位は、視覚化のため誇張している（deformation exaggeration））。いわゆるラーメン構造による地震時の水平抵抗機構を直視することができる。

平常時では、この地下空間に乗降客と走行列車を包み込むが、地震が襲来すれば一転して激しい横揺れにボックスカルバートは抵抗する。非線形動的解析により、RCラーメン構造として健気に耐え忍ぶ姿が手に取るようにわかる。想定以上の地震が襲来した場合、（欠陥や劣化により）構造耐力が不足している場合など、“想定外”をパソコン上でシミュレートすることができる。これがFEMの魅力である。

Column01

先進の空洞掘削技術が可能にした大規模地下実験施設

エンジニアの皆さん：神岡宇宙素粒子研究施設よりメッセージを預かっています

大規模地下実験施設：カミオカンデ・スーパーカミオカンデ・ハイパーカミオカンデ



神岡宇宙素粒子研究施設（東京大学）は、岐阜県飛騨市神岡町の地下に、カミオカンデ（体積3千トン）とスーパーカミオカンデ（体積5万トン）を建設・稼働させたが、いずれも先進の空洞掘削技術が可能にした大規模地下実験施設である。一連の研究成果により、小柴昌俊教授と梶田隆章教授が相ついでノーベル物理学賞を受賞し、日本中が湧きあがったことは記憶に新しい。現在、ハイパーカミオカンデ（画像上：体積26万トン）の建設が進み、すでにドーム Dome が完成（画像下）、本体 Main cavern の掘削も完了している。【画像提供：東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設】

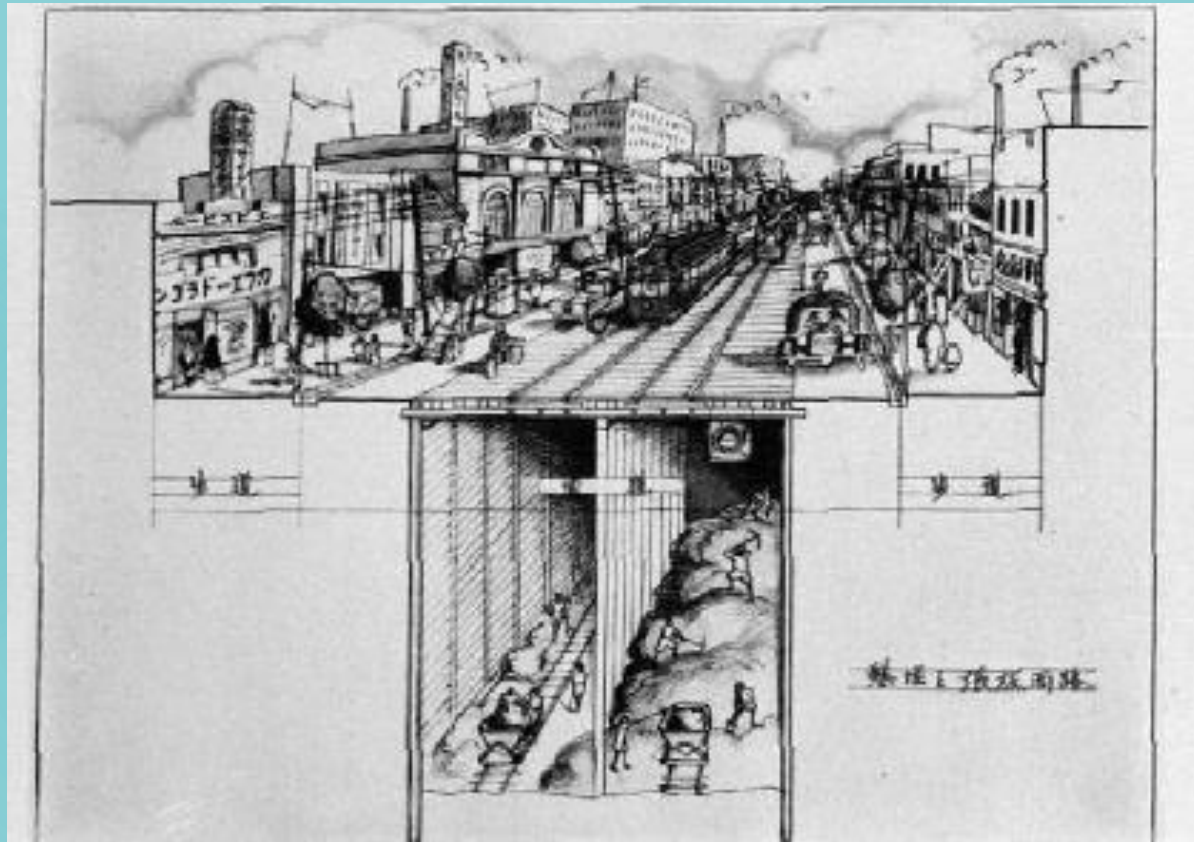
Column04

インフラ施設の断面図をきわめる

エンジニアリング分野での、断面図の傑作事例を集めた

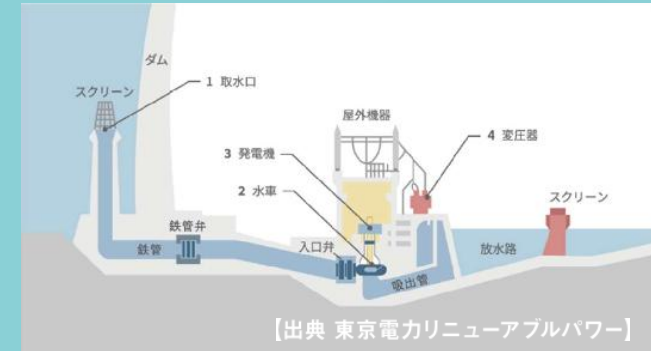
1.開削工法による地下鉄建設工事 (地下鉄銀座線、昭和初期作成)

【出典 東京メトロ文化財団】



2.ダム式水力発電所のメカニズム

【東京電力リニューアブルパワーHPを加工して作成】



3.二ヶ領用水久地円筒分水を描く (神奈川県川崎市高津区久地)

【出典 ロココ・クリエイティブ 下村滋子】

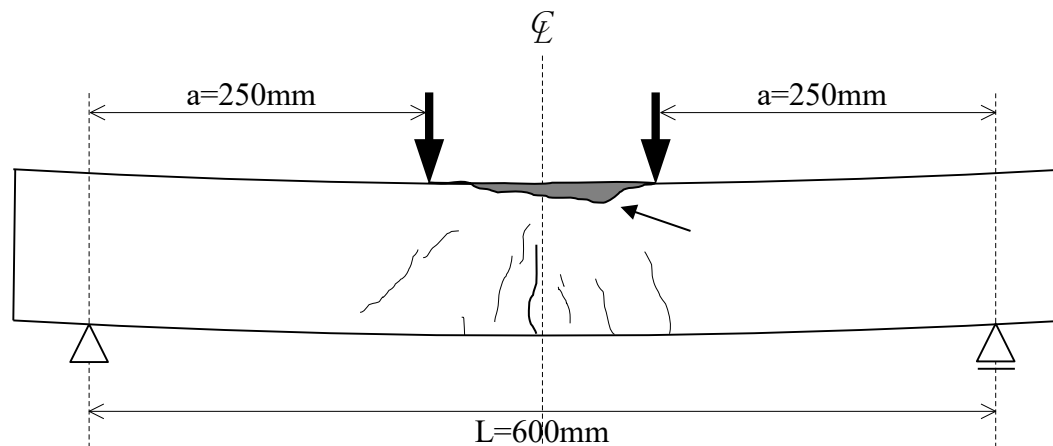


Column05

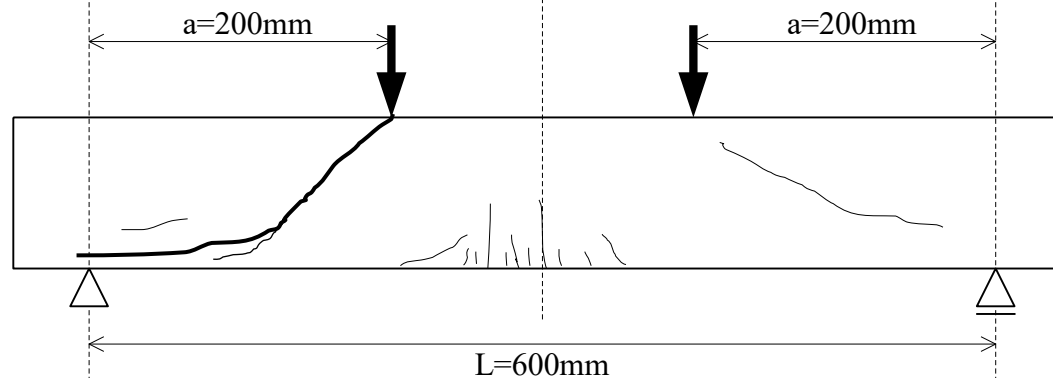
梁・柱部材の宿命的バトル：曲げ破壊vs.せん断破壊

構造エンジニアは、実験や演習が将来の実務に活かされる

b) 宿命的バトル：曲げ破壊vs.せん断破壊



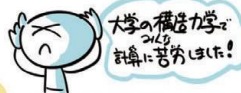
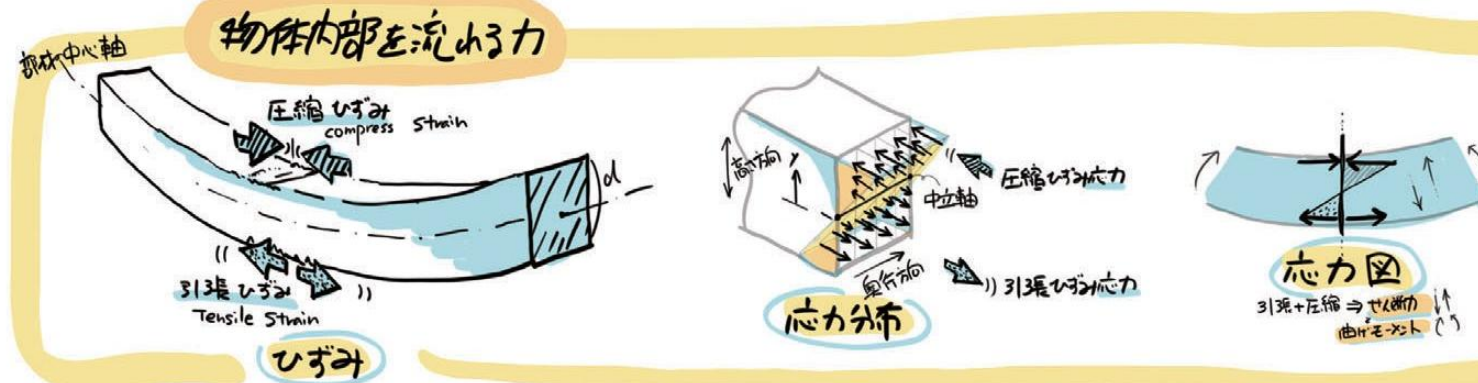
(a) 曲げ破壊型



(b) せん断破壊型

Column06

小林教授（アリゾナ州立大学）による超絶グラフィックレコーディング アイデア創出・ファシリテーション・相互理解・視覚化：究極のエンジニアリンググラレコ

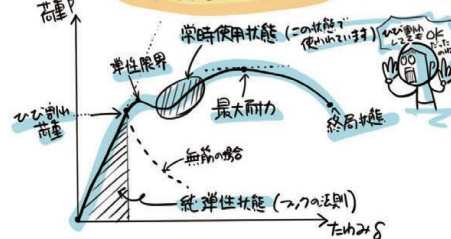


QMD (SFD & BMD)

計算式は省き... テキストで説明

荷重 (loading)	せん断力図 (SFD)	曲げモーメント図 (BMD)

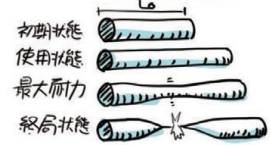
応力ひずみ曲線 Stress-Strain Curve



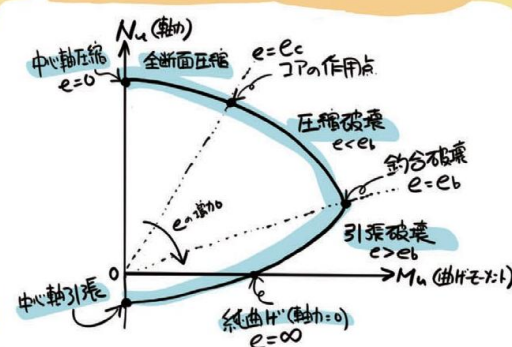
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

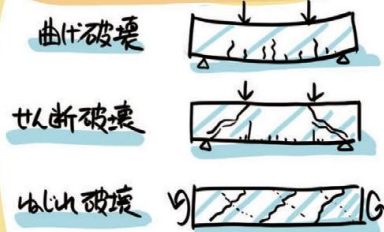
$$\sigma = E \epsilon \quad (E \text{ はヤング係数})$$



軸力と曲げを受ける部材の破壊包絡線



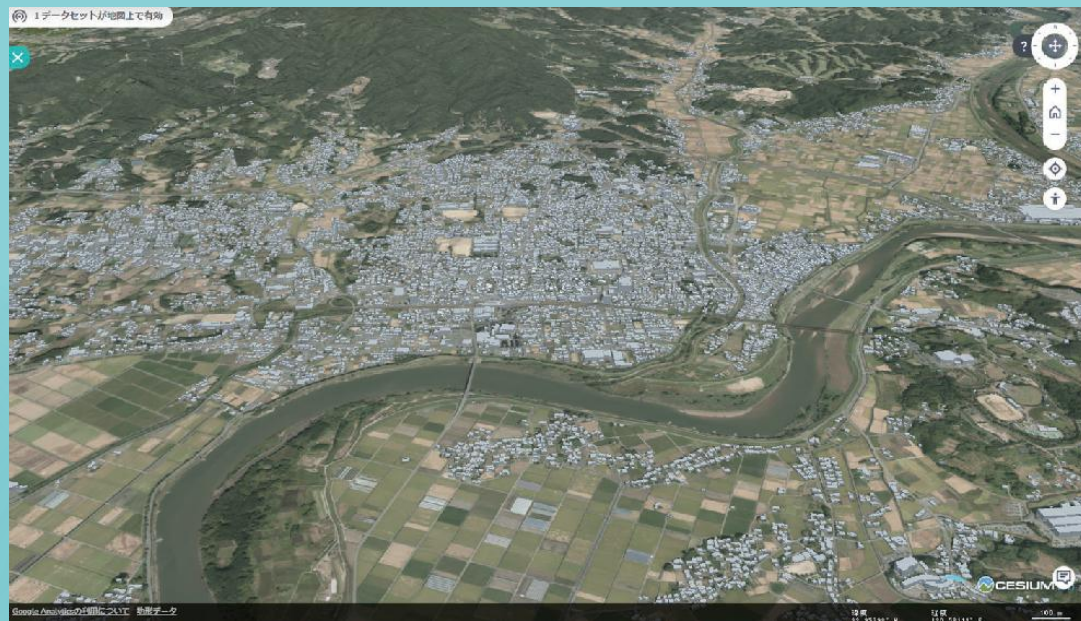
ひび割れパターン



Column 14

3D都市モデルを活用した氾濫シミュレーション：熊本県玉名市 動くハザードマップを利用した災害リスクの可視化

熊本県玉名市の3D都市モデル



【出典：国土交通省 PLATEAU ウェブサイト <https://www.mlit.go.jp/plateau/>】

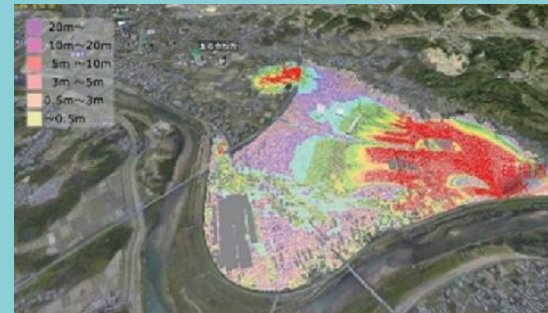
1. 初期状態（破堤前）



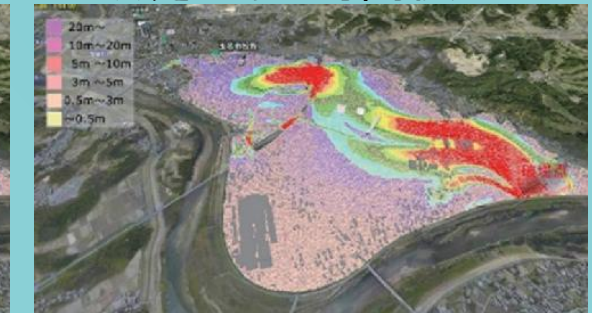
2. 破堤より15分後



3. 破堤より1時間後



4. 破堤より2時間後



【3次元リアルタイム・バーチャルリアリティソフトUC-win/Road】

浸水シミュレーション結果を3DVR 空間上へリアルタイムに再現することにより、3D都市モデル上を刻々と変化する被災状況が体感できる。既存の紙媒体や2Dの静的な（動かない）ハザードマップとは異なり“動くハザードマップ”として災害リスクがわかりやすく可視化される。

最後になりましたが、本書の“まえがき”を要約します。



1. シビルエンジニアリングのワクワクとドキドキを伝えたい
2. シビルエンジニアリングの系譜
3. シビルエンジニアにも“絵心”があるんだ！
4. “ポンチ絵復活運動”を提案したい
5. Infrastructure for the Next Generation