

5. 応用力学

■ 2026年8月26日(水) 14:20～16:00 | Ⅲ 第5会場(404教室)

[5-5] 応用力学：農業農村整備施設における数値計算・設計における諸課題

座長: 福元 豊(岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域)

農業農村整備施設における数値計算・設計における諸課題

14:20～14:35

[5-26] 弾完全塑性地震応答解析における数値分散誤差と減衰係数の決定について

*清水 紫媛¹、藤澤 和謙¹、シャルマ ヴィカス¹、竹中 一真¹ (1. 京都大学大学院農学研究科)

14:35～14:50

[5-27] 観測データの変動がバイズ逆解析の推定結果に及ぼす影響の評価

*柴田 達哉¹、Koch Michael Conrad²、藤澤 和謙¹ (1. 京都大学、2. オーストラリア国立大学)

14:50～15:05

[5-28] 既設頭首工堰柱の劣化状況を考慮した地震応答解析モデルの検討

*戸田 英徳¹、今出 和成¹、柴野 一真²、萩原 大生³、鈴木 哲也²、大野 健太郎⁴ (1. (株) 三祐コンサルタンツ、2. 新潟大学自然科学系、3. 山口大学大学院創成科学研究科、4. 東京都立大学)

15:05～15:20

[5-29] ほ場整備におけるBIM/CIMモデルの活用と課題

*原田 亘¹、宋 貝君¹、岡田 篤弥² (1. 内外エンジニアリング株式会社、2. 北陸農政局水橋農地整備事業所)

15:20～15:35

[5-30] スtockマネジメントにおける炭素排出量試算とカーボンニュートラル実現に向けた設計者の役割に関する一考察

*家田 浩之¹、峰野 佳厚¹、吉中 輝彦¹、岩崎 俊樹¹、金沢 宗太郎¹、北村 至¹ (1. 株式会社エイト日本技術開発)

15:35～16:00

セッション総括

弾完全塑性地震応答解析における数値分散誤差と減衰係数の決定について Influence of Numerical Dispersion Error on Elasto-Perfectly Plastic Dynamic Analysis and Determination of Damping Coefficient

○清水 紫媛*

藤澤 和謙*

シャルマ ヴィカス*

竹中 一真*

SHIMIZU Shion

FUJISAWA Kazunori

SHARMA Vikas

TAKENAKA Kazuma

1. はじめに

ため池をはじめとする農業用水利施設において、レベル 2 地震動を対象とした地震応答解析が継続的に実施され、特に構造物の応答が弾性限界を超える際の弾塑性応答の正確な評価が要請される。そこで残留する塑性変形を、地震応答と共に一貫して評価できる手法として、弾塑性地震応答解析の活用が期待される。一般的に地震応答解析では、有限要素法（以下 FEM）と Newmark- β 法に代表される時間積分法によって支配方程式を離散化する。この空間・時間の離散化に伴って発生する数値誤差は、実際の応答とは異なる数値解をもたらす、耐震性評価の信頼性を損なう可能性がある。特に弾塑性解析においては、その非線形性に起因した複雑な数値誤差の発生が予想される。

本論では、波動解析において特に重要となる数値分散誤差に着目し、弾完全塑性動的応答解析におけるその影響を検討する。簡単のため、堤体（弾完全塑性）と基礎地盤（弾性）を模擬した一次元モデルのせん断波応答を対象として、数値解に現れる数値振動の発生メカニズムを明らかにする。またこの数値振動を抑制する手段として、剛性比例減衰を導入し、その係数の設定方法について考察を行う。

2. 一次元モデルと支配方程式の無次元化

基礎地盤上にダム堤体が存在するモデルを想定する。数値分散誤差の影響のみを議論するため、堤高を H_f 、基礎地盤の深さを H_d とした鉛直一次元モデルを想定する。また堤体内と基礎内では物性が一樣であると仮定し、この一次元モデルを伝播するせん断波を、以下のような無次元化された運動方程式により考える。

$$\bar{\rho} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} - \frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \bar{x}} = 0, \quad \bar{x} = \frac{x}{H_d}, \quad \bar{t} = \frac{V_d t}{H_d}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_d}, \quad \bar{v} = \frac{v}{V_d}, \quad \bar{\tau} = \frac{\tau}{G_d} \quad (1)$$

ここで $\bar{\cdot}$ は無次元化を表し、 ρ , v , V , τ , G はそれぞれ密度、速度、弾性せん断波速度、せん断応力、せん断弾性係数である。また添字 d は堤体に付随する値であることを指す。式(1)を FEM と Newmark- β 法により離散化する。弾完全塑性体である堤体に対しては Mohr-Coulomb の破壊基準に基づいて、堤体底面部での降伏応力を採用した。

3. 数値モデルが有す数値分散誤差と数値解析への影響

波動解析の数値解では、波の伝播速度のずれが数値分散誤差として発生する。線形有限要素と Newmark- β 法 ($\gamma = 1/2$, $\beta = 1/4$) を使用した際に発生する分散誤差を事前評価し⁽¹⁾、波速の相対誤差 (RPSE) の形で整理したものを図 1 に示す。横軸、縦軸はそれぞれ、ある波の周期 T と波長 λ に対する、要素幅 Δx と時間分割幅 Δt の比となる。RPSE の正(負)は、厳密な波速 c と数値波速 c^h の大小関係を意味している。同図から Δx , Δt の

* 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

Keywords: 数値解析, 有限要素法, 弾完全塑性解析, 分散誤差

組合せによって数値波速は大きく変化するが、 $CFL(=c\Delta t/\Delta x)$ 数が0.7付近となるように設定すると、低周波領域ではほぼ分散誤差のない解析ができることが分かる。

分散誤差の影響を確認するため、正弦波加速度（周期0.1 s，振幅 8.0π m/s²）を基礎底面より一周期入力し弾塑性応答解析を行った． $H_d = H_f/3 = 50$ mとし，簡単のため $\bar{\rho} = \bar{G} = 1$ とした．また降伏応力は粘着力なし，内部摩擦角 30° により設定した． CFL 数が0.7となる， $\Delta\bar{x} = 0.01$ ， $\Delta\bar{t} = 0.007$ を基準とし， CFL 数が異なる場合と比較した．図2に(a)堤体底面での降伏発生直後，(b)降伏中，(c)降伏後における加速度分布を示す．どの結果でも降伏時に発生するパルス状の加速度により，その後の数値振動が顕著になる．このパルス状の加速度は入力波には有意に含まれない高周波成分を含む．この高周波成分は図1において大きな分散誤差を有し，数値振動の原因となる．実際，数値振動は CFL 数に応じて波頭前方または後方で卓越しており，これは図1における高周波領域の $RPSE$ の正負と整合している．また数値振動の発生によって堤体内では，厳密解よりも大きな加速度が伝わる（図3の灰色破線も参照）．

4. 分散誤差を考慮した減衰係数の設定

剛性比例減衰による数値振動の除去を検討した．数値振動は高周波成分の大きな数値分散誤差に起因する．そこで本論では， CFL 数0.7において分散誤差($RPSE$)が-1%となる周波数(図1の◇)を有す波が，天端に到達するまでに減衰される剛性比例減衰係数を設定した．この減衰係数を用いた解析結果（堤体内の絶対最大加速度）を図3に示す．この図から CFL 数が0.7の場合には設定した減衰が有効に作用し，天端付近では厳密解と一致する加速度が得られる．一方 CFL 数が異なる際には同じ減衰係数では，数値振動を完全に取り除くことはできず加速度を過大評価している．

参考文献 1) S-B. Kwon, K-J. Bathe and G. Noh: An analysis of implicit time integration schemes for wave propagations, Comput. Struct., 230, 106188, 2020.

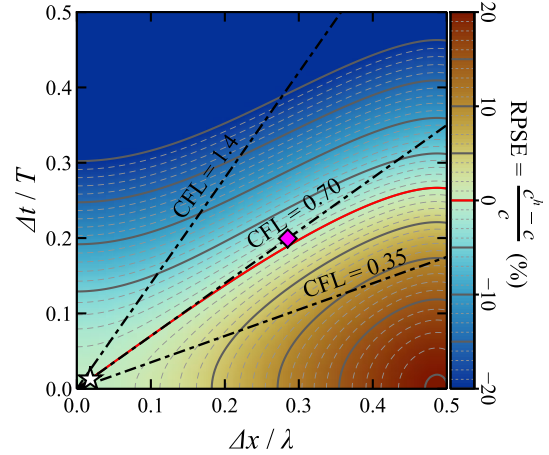


図1 数値波速の相対誤差(RPSE)コンター図
Fig.1 Contour plot of relative phase speed error

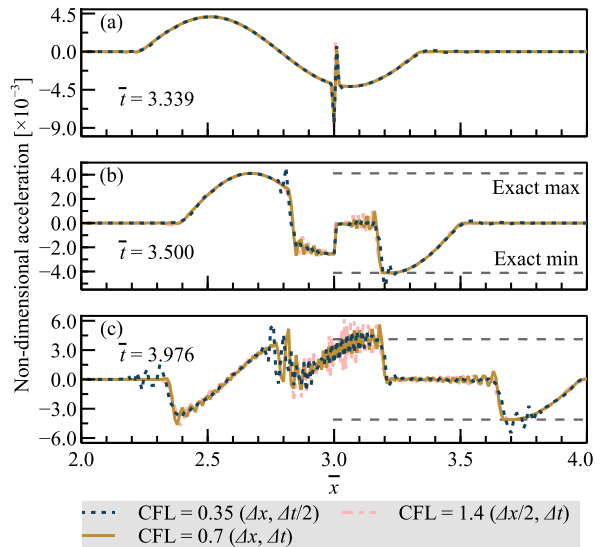


図2 (a)降伏時，(b)降伏中，(c)降伏後における無次元加速度分布
Fig. 2 Nondimensional acceleration fields: (a) onset of, (b) during, (c) after yielding

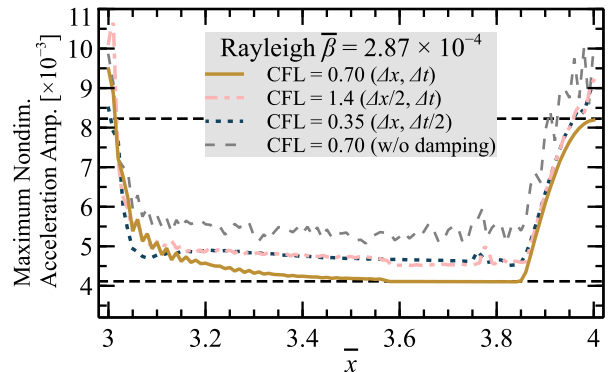


図3 堤体内で観測された無次元絶対最大加速度
Fig. 3 Maximum absolute nondimensional acceleration observed in the dam

観測データの変動がベイズ逆解析の推定結果に及ぼす影響の評価

Numerical investigation of the impact of observational data differences on Bayesian inversion results

○柴田 達哉*

Koch Michael Conrad**

藤澤 和謙*

SHIBATA Tatsuya

KOCH Michael Conrad

FUJISAWA Kazunori

1. はじめに

一般に逆問題は不良設定問題 (ill-posed) であり、解の存在や一意性、および観測データに対する安定性が保証されない。そのため、観測ノイズなどの不確実性に敏感であり、信頼性の高い解の取得は困難である。この課題に対し、近年ではベイズ的アプローチが広く用いられている。本枠組みでは、推定対象を確率的にモデル化することで、平均や中央値などの代表値による点推定に加え、不確実性を区間として定量的に評価できるため、実務において有用である。さらに、ベイズ逆解析においては、多くの問題で良設定問題 (well-posed) になることが知られており^{1,2)}、理論的保証も与えられる。ただし、数学的な意味での安定性は、観測データの変動に対する実務上の堅牢性を保証するものではない。すなわち、推定結果が観測データに対して連続的に変化しても、その変化が実用上無視できるとは限らない。そこで、本研究では浸透流問題を例に、複数の観測データセットに対して逆解析を行い、その解の性質について検討する。

2. ベイズ逆解析の概要

一般にベイズ逆解析は観測モデル

$$\mathbf{y} = \mathcal{G}(\mathbf{k}) + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Gamma}) \quad (1)$$

に基づく。ここで、 $\mathbf{k}$ は推定対象、 $\mathcal{G}$ は順問題モデル、 $\mathbf{y}$ は観測データ、 $\boldsymbol{\varepsilon}$ は観測ノイズである。浸透流問題を扱う本研究では、 $\mathbf{k}$ は透水係数場であり、 $\mathcal{G}(\mathbf{k})$ は水頭および流量を出力する。ベイズ逆解析では、あらかじめ $\mathbf{k}$ の事前確率場を設定し、ベイズの定理に基づいて観測情報を取り込むことで、事後確率場 $\mathbf{k}|\mathbf{y}$ を推定することを目的とする。本研究では、観測情報 $\mathbf{y}$ の違いに対する $\mathbf{k}|\mathbf{y}$ の変動について検討する。

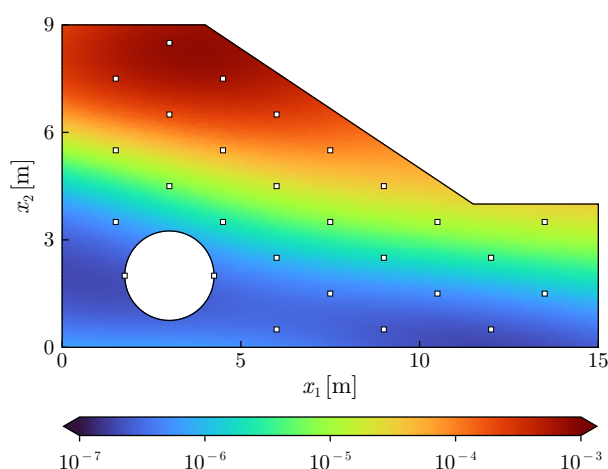


図1 真の透水係数場

Fig1 True hydraulic conductivity field

3. 数値実験

図1に示す透水係数場を推定する逆問題を考える。境界条件として、底面および内部の円周上では流量ゼロ、それ以外の境界ではDirichlet境界条件 $h = x_2$ を課す。ここで、 h は全水頭である。観測データは、27点での圧力水頭(図1中の白点)および領域

*京都大学 (Graduate School of Agriculture, Kyoto University)

**オーストラリア国立大学 (Research School of Earth Sciences, Australian National University)

右端からの流出流量とする。観測データはノイズの標準偏差を真値の 1.5%とし、式(1)に従い数値的に生成した。このノイズ特性を持つ観測データを 100 セット ($\mathbf{y}_i, i = 1, \dots, 100$) 用意し、それぞれに対する事後確率場を求めた。

観測データの違いによる推定結果への影響を評価するため、各事後確率場を代表する場として、 $\hat{k}_i = E[k|\mathbf{y}_i]$ を考える。 $\hat{k}_i$ ($i = 1, \dots, 100$) の平均、標準偏差およびバイアス (真値と平均の差) を図 2 に示す。ここで、バイアスと標準偏差はそれぞれ系統誤差と偶然誤差に対応する。すなわち、観測データのばらつきに起因する変動は標準偏差に現れる。領域下部では標準偏差は低く、観測データに対してロバストである一方で、領域上部では標準偏差が大きい。これは、領域上部が周辺を Dirichlet 境界に囲まれており、透水係数の値によらず水頭が類似した値を取りうるためと考えられる。なお、領域上部での顕著な負のバイアスに関しても同様の理由によるものと考えられる。

4. 結言

浸透流問題を例として、観測データセットの違いがベイズ逆解析の推定結果に与える影響について検討した。本研究で扱った問題設定においては、ロバスト性が低下する主な要因は境界条件であることが示唆された。このような場合、プリプロセスとして代表的な場を仮定して逆解析を行うことで、ロバスト性の傾向を事前に把握できる可能性がある。さらに、ロバスト性が低下しやすい領域の特定を通じて、観測点配置の検討に有用な知見が得られる可能性もある。

参考文献

- 1) Stuart, A. M. (2010). Inverse problems: a Bayesian perspective. *Acta numerica*, 19, 451-559.
- 2) Latz, J. (2023). Bayesian inverse problems are usually well-posed. *SIAM Review*, 65(3), 831-865.

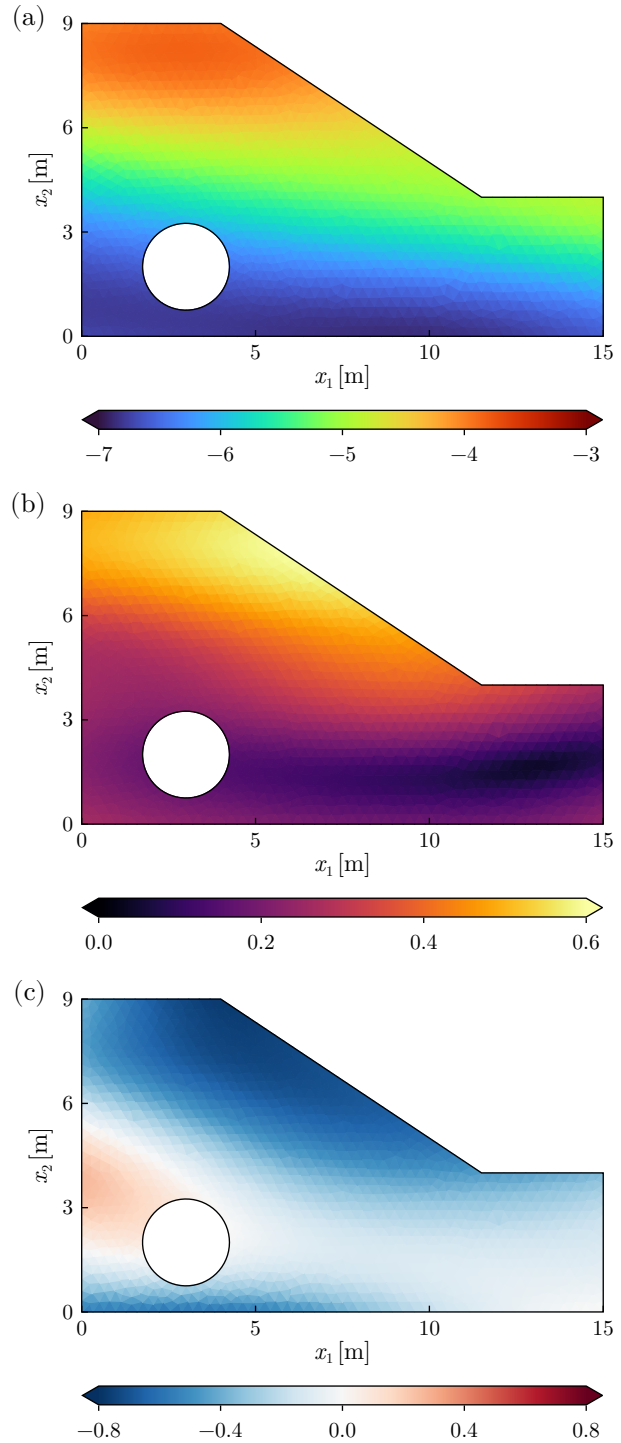


図 2 $\hat{k}_i$ の (a) 平均、(b) 標準偏差、
(c) バイアス

Fig2 (a) Mean, (b) standard deviation,
and (c) bias for $\hat{k}_i$

既設頭首工堰柱の劣化状況を考慮した地震応答解析モデルの検討

Proposal of Earthquake Response Analysis Model for in-Service Headworks Piers affected by Concrete Deterioration Status

○戸田 英徳* 今出 和成* 柴野 一真** 萩原 大生*** 鈴木 哲也** 大野 健太郎****
Hidenori Toda Kazunari Imaide Kazuma Shibano Taiki Hagiwara Tetsuya Suzuki Kentaro Ohno

1. はじめに

既設頭首工は建設から長期間が経過しており、コンクリートの劣化進行が懸念されている。将来想定される大規模地震に対する安全性評価には、建設時と異なる現時点の状態を考慮した検討が有効であるが、劣化状況を定量的に解析モデルへ反映した耐震検討事例は少ないのが現状である。

本報告では、既設頭首工の堰柱を対象に、UAV 計測による実形状および表面ひび割れ情報と竣工図を併用した、地震応答解析モデルの構築と構築した劣化モデルによる試算結果を報告する。モデルの構築は、UAV 計測結果と竣工図の形状を比較すること、UAV 計測で精度確保が困難な部位は竣工図に基づく形状データを用いること、UAV 空撮による表面ひび割れ情報を参考として、部位毎に劣化状況に応じた物性値設定が可能なモデルとした。構築したモデルを用いて、表層ひび割れの影響で主鉄筋より外側の表層部コンクリートが脆弱化したと仮定した場合、耐力であるひび割れモーメントは健全な場合の約 7 割となる結果となった。

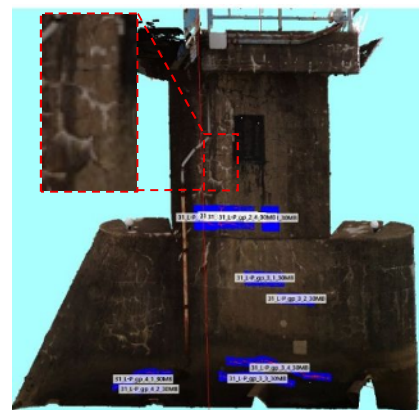


図1 既設頭首工の写真
Fig. 1 Photos of the existing headworks

2. 検討対象施設概要と UAV 調査結果

(1) 検討対象施設概要

既設頭首工を対象として、竣工図により形状の把握と堰柱の配筋位置の確認を行うとともに、UAV レーザーによる実形状取得と、UAV 空撮によるコンクリート表面の劣化状況の確認を実施した。図1に示すように、堰柱の上部と下部の両方で網目状のひび割れが確認されており、下部堰柱では上下流両側でひび割れを確認した。

(2) UAV 計測結果と竣工図の形状比較

図2に示すとおり、UAV で取得した点群から構築したモデルおよび、竣工図より構築したモデルを統合し、現地計測結果と建設時の竣工形状との比較を実施した。



図2 モデルの比較結果図
Fig. 2 Model Comparison Chart

* (株)三祐コンサルタンツ (Sanyu Consultants Inc.)

**新潟大学自然科学系 (Institute of Agriculture, Niigata University)

***山口大学大学院創成科学研究科 (Graduate school of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi University)

****東京都立大学 (Tokyo Metropolitan University)

キーワード: 数値解析、既設頭首工、劣化、シミュレーション

両者の形状を比較した結果、堰柱厚や堰柱・門柱高等、主要な形状は概ね一致したものの、頂版厚は竣工図記載の頂版厚 400mm に対し 500mm 厚い、900mm で造成されていることを確認した。そのため、解析モデルは実形状を反映して頂版を 900mm 厚とした。

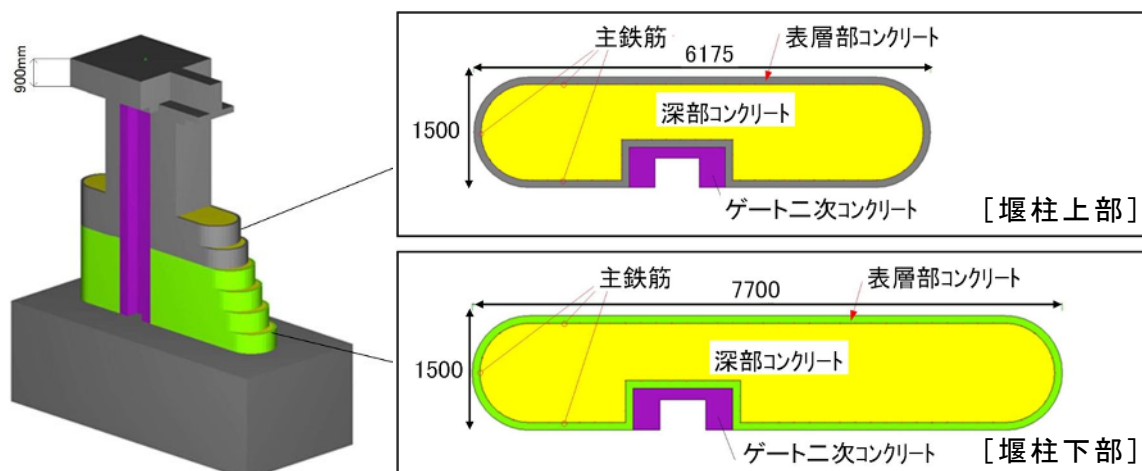


図3 材料劣化を考慮可能な解析モデル

Fig. 3 An analytical model capable of accounting for material deterioration

3. 解析モデルの構築と試算結果

(1) 解析モデル概要

モデル化の方法は、頭首工の耐震性能照査で一般的に用いられるフレームモデル¹⁾とし、損傷程度(無損傷→ひび割れ→鉄筋降伏→圧壊)を定量評価可能な $M-\phi$ モデルを採用した。また、図3に示すように、堰柱の内部損傷を考慮し、躯体の表層部、深部および高さ方向で異なる物性値を取り込める解析モデルとした。

(2) 脆弱化を考慮した試算結果

表層と深部で材料物性が異なる断面要素を1本の梁要素として評価するために、許容応力度法²⁾の考え方と同様、ヤング係数比を用いて異なる材料物性が混在する梁要素として評価した。この方法で、図4に示す断面の曲げ応力に対する耐力であるひび割れモーメント M_c を試算した結果、表1のとおり健全な場合と比べてひび割れモーメントが低下する結果が得られた。

4. おわりに

本報告では、既設頭首工堰柱の劣化状況を定量的に評価する解析モデルを提案した。今後の検討では、現地調査で得られる材料物性値を提案モデルに反映した上で、当該地点の地震動ハザードカーブを考慮した大規模地震に対するリスク評価を実施したい。

謝辞

本報告は「オープンイノベーション研究・実用化推進事業」で採択されたプロジェクト「農業用頭首工の安全性診断に資するデジタルツイン型常時監視手法の開発」にて実施した検討結果の一部を取りまとめたものである。記して謝意を表します。

参考文献 1) 土地改良事業計画設計基準 設計「頭首工」(令和6年3月)

2) 土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」(平成26年3月)

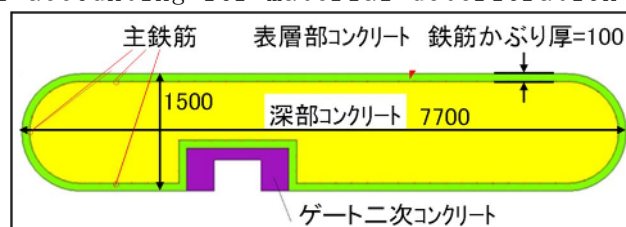


図4 要素断面図

Fig. 4 Cross-section of an element

表1 ひび割れモーメント M_c の比較表

Table 1 Comparison Table of Cracking Moments (M_c)

	健全 (E23500)	脆弱部 (E18000)	
	①全体が健全	②表層部が脆弱	③全て脆弱
M_c (kN.m)	3,890	2,820	2,372
比率	1.00	0.72	0.61

※軸力 $N=0$ kN の条件でひび割れモーメント M_c を試算した

ほ場整備における BIM/CIM モデルの活用と課題 Utilization and Issues of 3D models in farmland consolidation

*原田 亘¹⁾、宋 貝君¹⁾、岡田 篤弥²⁾

HARADA Wataru, SOU Kaikun, OKADA Atsuya

1. はじめに

人口減少社会において農業競争力強化や国土強靱化に資する農業農村整備事業を着実に実施していくためには、この一連のプロセス全体の業務合理化が必要である。この課題解決に向けて、事業に携わる関係者が建設生産・管理システムの各段階での BIM/CIM の活用が推進されている¹⁾。これを踏まえ、ほ場整備工での 3 次元モデルの作成や設計段階でのその活用の検討内容を報告する。

2. 3 次元モデルの作成

国営ほ場整備地区(55ha)において、実施設計成果品を基に設計データの 3 次元モデル化を行った。3 次元モデルの基盤となる地形モデルは UAV レーザ測量データからグリッドの格子間隔を設定した上で、TIN モデルを生成した。そして、オルソ画像と宅地等のソリッドモデルを合わせ地形モデルとした。ほ場整備のような大区画のモデルを作成するときには、格子間隔やオルソ画像の解像度によっては、ファイルサイズが莫大となりモデルがスムーズに動作しないなど作業性に影響があるため留意が必要である。ここでは、地目を確認でき、動作がスムーズな格子間隔 2.0m、オルソ画像の解像度 50cm/画素を選定した。次に、ほ場整備工の 3 次元モデルは、表-1 の工種及びモデル詳細度で作成した。ほ場整地工や農道、畦畔、施工計画等の土工形状モデルは、計画平面図や縦・横断図を使用し、サーフェスモデルで作成した(図-1)。また、用・排水路や給水栓等の付帯施設の構造物モデルは構造図等からソリッドモデルで作成した(図-2)。

表-1 モデル詳細度

工 種	モデル詳細度
ほ場整地工	300
農道、畦畔	300
用水路	300
排水路	300
施工計画	200

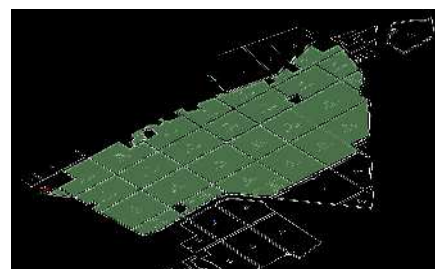


図-1 ほ場整地工の 3 次元モデル

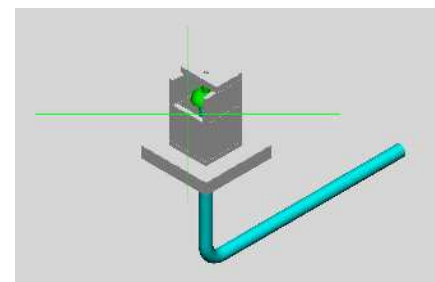


図-2 給水栓の 3 次元モデル

3. 設計段階における 3 次元モデルの活用²⁾

(1) 3 次元ソフトウェアを用いた土量計算

本地区の区画計画では、高性能の農業機械が能率的に作業できるよう大区画化ほ場(概ね 1 ha 以上)へ整備する計画である。計画ほ場の平均地均高は、現況の狭小、不整形の現況ほ場から大区画化する過程で地均計算により切盛土を調整し決定する。ここでは、従来手法と 3 次元モデルを活用した手法での地均計算の作業効率について比較検討を行った。従来手法の地均計算は、現況ほ場毎に田面積を測量平面図から図例

1)内外エンジニアリング 株式会社 Naigai Engineering Co.,Ltd.

2)北陸農政局水橋農地整備事業所 Mizuhashi Agricultural Land Improvement Project Office, Hokuriku Regional Agricultural Administration Office

キーワード: BIM/CIM、ほ場整備工、設計段階の活用

し、地盤高を各ほ場1点の標高として計算して計画ほ場の平均地均高を算定している。一方で、3次元ソフトウェアを活用した土量計算では、ヒートマップ機能により、ほ場全体の合計の切盛土量からほ場面積を割り、一括で計画ほ場毎の地均高を計算することができる(図-3)。この機能では、畦畔や水路等が含まれていても計算可能である。この手法で計算した結果、従来手法の計算結果とほぼ同じ結果となった。従来手法に比べ作業時間が大幅に短縮できることから、活用効果が高いと考えられる。

(2) 地元説明用モデル

地元説明用モデルは地元の要望及び施工手順が

確認できるように、統合モデルを編集した。地元要望の3次元モデルへの反映では、アタッチメントタイプの草刈り機が使用できる幅広畦畔やターン農道の形状や位置の把握が要望としてあったためこれが可視化できるモデルを作成した。また、モデル内に人や軽トラック、トラクタ、標尺を配置して、ほ場の規模や進入ルート、草刈

りでの法面の形状がわかるように工夫した。施工手順では、図-4のように、施工年度毎に施工段階の3次元モデルを作成することで、施工手順が時系列に可視化できるモデルとした。地元説明後に実施したアンケート調査の結果では、回答者の約8割りが完成イメージがわかりやすく把握できたとの回答であり、地元説明に3次元モデルを活用することにより、ほ場整備の施工内容の理解に高い効果がある結果となった。

5. 終わりに

ほ場整備工(55ha)での設計段階での3次元モデルの活用例を紹介した。今後、施工段階や維持管理段階でのBIMCIMモデルの活用においては、多くの課題あるため、この段階での検討も進めていきたい。

〔関連資料〕

- 1) 農林水産省 農業農村整備における情報化施工及び3次元データ活用 令和4年5月
- 2) 北陸農政局水橋農地整備事業所 令和6年度水橋農地整備事業下条上市団地(水橋小出工区)実施設計3次元化業務 令和7年6月

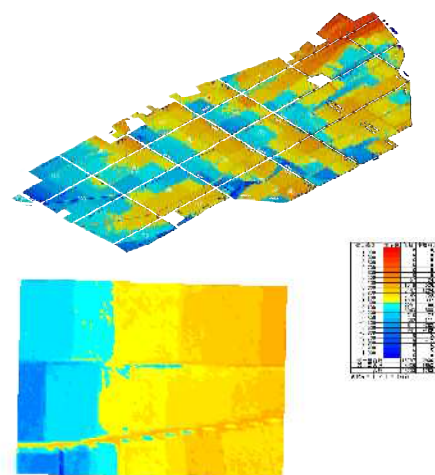


図-3 土量計算(ヒートマップ)

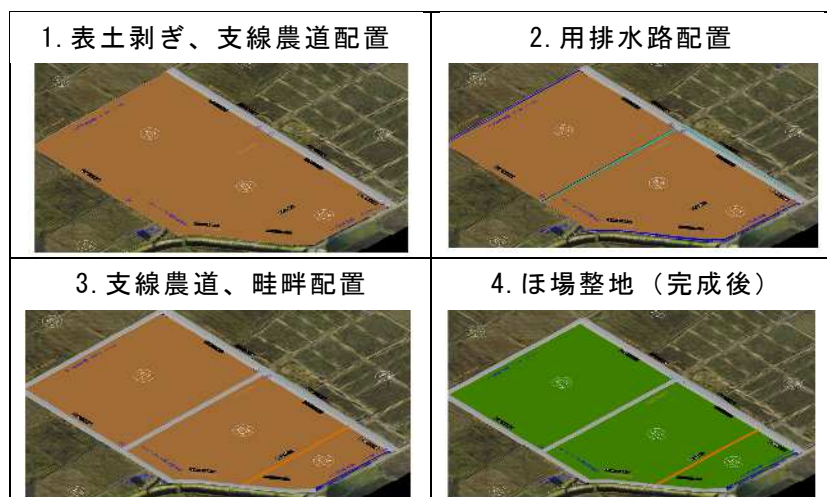


図-4 施工手順図

ストックマネジメントにおける炭素排出量試算と カーボンニュートラル実現に向けた設計者の役割に関する一考察 Carbon Emission Estimation in Stock Management and a Consideration of the Role of Designers for Achieving Carbon Neutrality

○家田 浩之*、峰野 佳厚*、吉中 輝彦*、岩崎 俊樹*、金沢 宗太郎*、北村 至*

Hiroyuki Ieda, Yoshihiro Mineno, Teruhiko Yoshinaka, Toshiki Iwasaki, Sotaro Kanazawa, Itaru Kitamura

1. はじめに

2050年のカーボンニュートラル（以下、CN という）達成に向けた取り組みが各方面で加速している。老朽化の進む膨大な農業水利施設のストックマネジメント（以下、ストマネという）においては、材料製造者、施工者、設計者、事業者など各プレーヤーが協働して CN 実現に向けた役割を果たしていくことが求められる。ストマネのサイクルの上流側で計画や設計を担う設計者（コンサルタント）は、CN 実現に向けたキープレイヤーである。

本稿では、今後のストマネ事業における CN 実現に向けた議論のたたき台を提供することを目的に、ストマネ事業における炭素排出量を試算し、設計者の役割について考える。

2. インフラのライフサイクル、サプライチェーンにおける CO² 排出量と設計者の関与

インフラ分野の CN に関しては、エネルギー使用による CO² 排出量の削減の取り組みが先行してきたが、近年では建設行為による CO² 排出量（エンボディドカーボン）も含めたライフサイクル、サプライチェーン全体での排出量削減の動きが加速している。

Fig.1 にインフラのライフサイクル、サプライチェーンにおけるエンボディドカーボンの区分と、各プレーヤーの関与のあり方を整理する。ここで、サプライチェーンの排出量は、自組織の活動にともなう排出（スコープ 1、2）とそれ以外の間接排出（スコープ 3）に分類される。設計者は自ら製品や構造物の製造・施工を行わないが、その設計成果がライフサイクル全段階の排出量に影響を及ぼす。すなわち、設計者はスコープ 3 の排出量という観点から、サイクル全体に対して実質的な責任を担う立場にあるといえる。

ストマネの設計者は、インフラのライフサイクルの中で最も期間が長い供用段階における排出量削減への貢献が求められる。また、スコープ 3 を含む排出量開示の義務化の流れの中で、設計者は将来的に、事業者から排出量データの提供を要請されることになることと認識しておく必要がある。

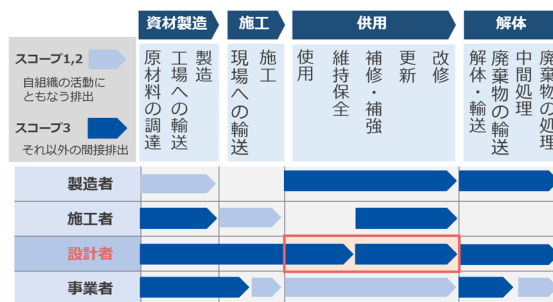


Fig.1 インフラのライフサイクル、サプライチェーンにおける炭素排出とプレーヤーの関与 ¹⁾を参考に作成
Carbon emission categories and the roles of players in the infrastructure life cycle and supply chains

3. ストマネ関連事業における炭素排出量の試算（オーダーレベル）

供用段階での主な炭素排出イベントは、老朽化にともなう補修・補強工事である。ストマネにおける CN 実現のためには、まず、補修・補強工事における炭素排出の実態を把握し、効果

* 株式会社エイト日本技術開発 Eight Japan Engineering Consultants Inc.

キーワード カーボンニュートラル、ストックマネジメント、構造物の設計手法

的な削減のための戦略を立てる必要がある。しかし、ストマネの補修・補強工事に関する炭素排出量の情報は極めて限られているのが現状である。

ここでは、今後の炭素排出量削減の目標や戦略を立てる上での基礎資料（参考値）の提示を目的に、ストマネ関連事業における炭素排出量の試算（オーダーレベル）を試みた。

炭素排出量は、一般に「排出原単位」に「活動量」を乗ずることで求められるが、ストマネ事業に関する原単位データはない。そのため、本試算では、原単位の参考値として、橋梁の工事費とCO₂排出量のデータをもとにした目安値 400tCO₂/億円¹⁾を用いた。また、事業費については、新設構造物の建設事業が少ない状況を鑑みて「かんがい排水事業」、「水利施設整備事業」、「防災関連事業」の最近（2020年度）の実績を「ストマネ関連事業」として計上した。

試算の結果を Table.1 に示す。2020 年度の事業による排出量は 116 万 tCO₂ となった。これは、農林水産業のエネルギー起源の排出量 1850 万 tCO₂ の 6% に相当する。

また供用段階では、大規模災害時の復興事業も主要な炭素排出イベントとなる。東北地方太平洋沖地震（2011 年）の農業用施設被害額をもとに、復興に係る CO₂ 排出量を試算すると 176 万 tCO₂ となる（Table.1）。

4. ストマネ設計者の役割と課題

インフラ供用中の排出炭素削減のためには、補修・補強の合理化による工事規模や工期の縮減、高耐久材料の使用による延命化を図ることが重要である。また、適切な防災対策により施設被害を減らすことは、炭素排出量削減の観点からも重要である（Fig.2）。

今回のような試算をもとに、各プレーヤーが協働して、材料・工種別の原単位整備を進めるとともに、2050 年 CN 達成に向けた削減目標・ロードマップの策定が喫緊の課題である。

参考文献

- 1) 春日：建設カーボンニュートラル，日経 BP, 2024.
- 2) Kasuga A. : A study on the contribution of structural concrete to reduce carbon dioxide emissions of the demand side. Structural Concrete. 2025;26(6):6836–6847. <https://doi.org/10.1002/suco.70382>

Table.1 ストマネ事業及び震災による炭素排出量の試算
Estimated carbon emissions from agricultural and rural infrastructure development projects and the earthquake disaster

区分	炭素排出量 tCO ₂	農林水産業比率****
ストマネ関連事業（2020）	2900 億円*×400tCO ₂ /億円** = 116 万 tCO ₂	6%
東北地方太平洋沖地震（2011）	4408 億円***×400t/億円** = 176 万 tCO ₂	10%

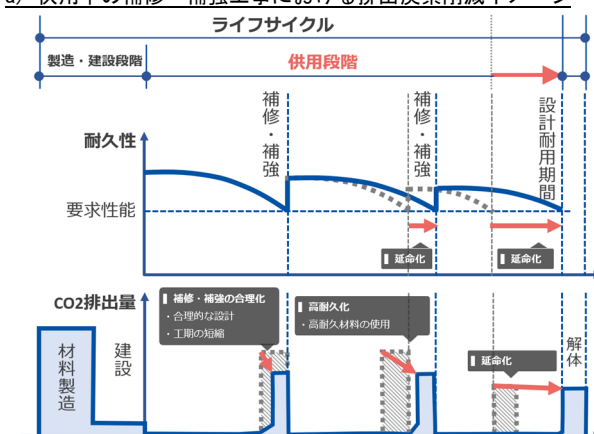
* 「農業基盤情報基礎調査報告書(令和2年度実績) 令和3年度」より、かんがい排水事業、水利施設整備事業、防災関連事業の総計（ストマネの対象となる施設整備費用に概ね該当する目安値として抽出）

** 橋梁の工事費と CO₂ 排出量のデータをもとにした目安値。ここでは、橋梁と同様にコンクリート（モルタル、セメント含む）、鉄筋、鋼材等を用いた工事が主となるストマネ関連事業における炭素排出量のオーダーを見積もる目的で使用。なお、橋梁と農業水利施設との施設特性の差異から不確実性を伴うことに留意が必要である。

*** 農林水産省による農業用施設被害の公表値。今回は復興によるコストが資産被害と同等と仮定して（一次的な概算として）使用。

**** 農林水産業のエネルギー起源の CO₂ 排出量 1,850 万 t に対する比率（同排出量は環境省による「令和2年度 エネルギー起源 CO₂ 排出量（確定値）」を引用したもの、同年の日本全体の CO₂ 排出量（10 億 4,400 万 t）の約 2% に相当）

a) 供用中の補修・補強工事における排出炭素削減イメージ



b) 強靱化による災害時の排出炭素削減イメージ

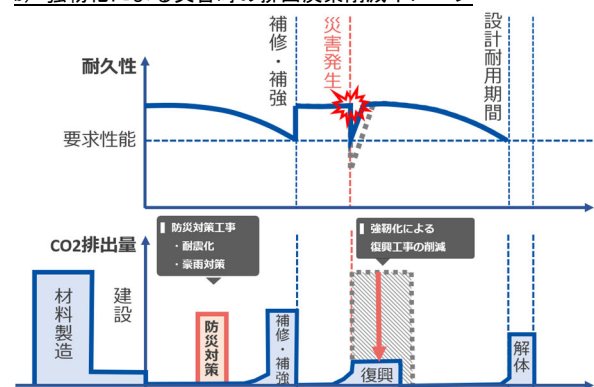


Fig.2 インフラのライフサイクルにおける炭素排出量と供用段階における排出削減のイメージ¹⁾を参考に作成

Carbon emissions over the infrastructure life cycle and emission reductions during the operation phase