

マルチスケール解析に基づく時間軸を考慮した構造物の性能照査への試み

(株) HRC 研究所 正会員 ○阿部 淳一 正会員 渡邊 忠朋

東京大学 フェロー会員 石田 哲也

(株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史

1. はじめに

構造物は仮想空間で照査された構造寸法・配筋詳細をもとに、実空間に施工し供用され、外力や環境作用により損傷、材料劣化が進み、補修・補強、更新、場合によっては撤去される。このような時間軸上に存在する構造物を、いかなる時間でも統一的な指標で性能照査を行うことが可能であれば、技術者は定量的評価に基づいて最適化された、よい構造物の設計を提案することができる。本論文はこのような観点のもと、時間軸を考慮した構造物の性能照査をマルチスケール解析に基づき行う試みについて示すものである。

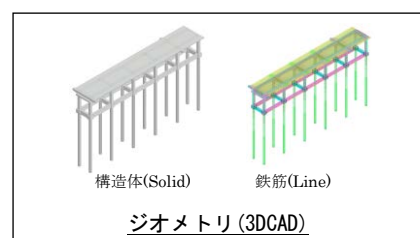
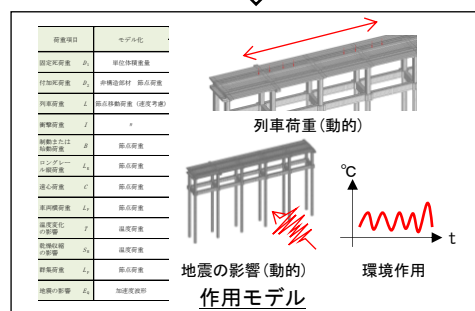
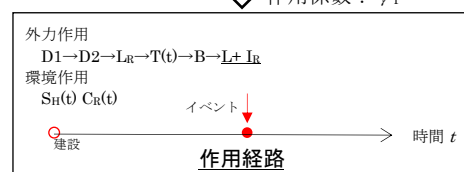
2. 検討概要

本研究が提案する時間軸を考慮した性能照査システムの概念を図-1に示す。本システムは新設構造物の性能照査を想定し、構造モデルおよび配筋情報を 3DCAD データに情報を与え管理し、性能照査時にはこのデータから解析モデルを自動生成する。

照査時に考慮すべき種々の不確実性は、部分安全係数法を用いて考慮することとした。時間軸上で変化する材料と連成する構造物の挙動は、DuCOM-COM3¹⁾によるマルチスケール解析を用いて算定することを基本と考えた。そのため、解析モデルは非線形ソリッド要素を基本とし、外力作用、環境作用のもとに、材料の時間軸変化を考慮した応答値を算定する。

新設構造物の照査は仮想空間のものであり、外力は、要求性能に対して設計上想定しうるすべての作用を考慮する必要がある。従来の弾性解析では個別に作用を解析し、得られる応答値を足し合わせることで作用を組合せているが、実挙動はどのタイミングで塑性化するかにより最終的な応答値は異なる。そこで本検討では、設計上の作用の順番である作用経路を設定することとした。この作用経路を、設計上想定しうるすべての作用の組合せで設定することを考える。解析により得られた材料の損傷指標、ひずみ、変形、鉄筋応力などを限界値と比較し、時間軸上の性能照査を行うこととした。

記載した性能照査システムは、新設構造物の照査を前提としているが、施工された実材料の試験結果等を解析に取込めば実構造の性能照査が可能であり、新設設計時の仮想空間の照査から、維持管理時の実空間の照査へとシームレスに対応できる。また、材料の時間軸変化を考慮した解析により、実構造物の将来予測ができる。DuCOM-COM3 を用いれば、与えた配合条件と環境条件下で精度良く材料の時間軸変化を解析することが出来るが、実構造は 1 つの構造物内でも配合や環境作用にばらつきが生じ、解析と実構造の挙動にばらつきが生じうることが考えられる。しかし技術者にとっては、構造物が将来

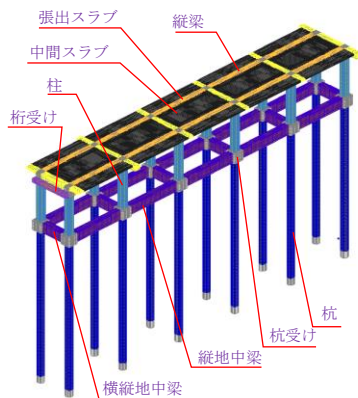
↓ 材料係数: γ_c, γ_s ↓ 作用係数: γ_f 

DuCOM-COM3 (COM3)
材料-構造連成マルチスケール解析

↓ 構造解析係数: γ_{na}

$\gamma_1 \cdot \sigma_d / \sigma_{Rd}$
時間軸上の性能照査

図-1 マルチスケール解析に基づく時間軸を考慮した性能照査システム



橋梁形式：RC ビームスラブ式ラーメン高架橋
接続形式：ゲルバー桁形式
軌道構造：複線、直線スラブ軌道
基礎形式：1 柱 1 杭基礎
構造寸法：
線路方向 径間数 5 径間 全長 L=50.000m
直角方向 径間数 1 径間 全長 L=5.000m
高さ H=7.000m
材料：
コンクリート
スラブ、梁、柱 $f_{ck}=27\text{N/mm}^2$ ($\gamma_c=1.0$)
杭 $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ($\rho_c=0.7, \gamma_c=1.0$)
鉄筋 SD345 ($\gamma_s=1.0$)

図-2 検討対象構造物

どのような壊れ方をするのか、どのような損傷が生じるのかを予測し、それに基づく適切な設計を行うことが重要であり、実構造と解析にばらつきが生じれば、定期的に調査結果等を解析に取込み精度を向上させればよいし、予めばらつきを想定して、環境条件や配合条件に幅を持たせて解析すればよい。

3. 検討例

検討例として、図-2 に示す鉄道 RC ラーメン高架橋を新設することを想定し、安全性(破壊)の照査を試みた結果について示す。荷重経路と作用係数を表-1 に示す。収縮および温度の影響は、本検討では簡易的にひずみとして部材一律に入力した。列車・衝撃荷重による応答は走行解析により動的に算定した。

照査は図-2 のモデル図に示す部位ごとに行うことを考えた。縦梁を例とすると、安全性(破壊)における照査指標は、コンクリート標準示方書に示される損傷指標 W_n 、および鉛直方向の鉄筋応力とした。図-3 に縦梁の荷重経路による W_n と鉛直方向の鉄筋応力の推移を示す。図-4 には縦梁第 5 スパンの W_n のコンター図を示す。解析により得られた最大応答値より、表-2 のように照査指標別に性能照査をすることを考えている。提案する方法はマルチスケール解析を用いることにより、構造物のいかなる時間軸においても性能照査することが可能である。技術者はこれにより、構造物の性能の将来予測を定量的評価に基づき行うことができ、合理的な設計を提案することが可能になると考えられる。

4. まとめ

マルチスケール解析に基づく時間軸を考慮した性能照査を行う試みについて、そのシステムと性能照査の一例を示した。今後、各要求性能の照査方法について引き続き検討を行いたいと考えている。また本検討例では、環境作用による材料の変化を、一定値のひずみ量として入力したが、実挙動は時間軸により変化し、さらに部材内でも均一ではない。このような実挙動を照査に効率的に取り込む方法についても検討したい。

謝辞 本検討は、東京大学大学院工学研究科の社会連携講座「インフラ技術・構造の次世代性能評価技術の開発」にて実施したものです。ここに謝意を表します。

参考文献

1) Maekawa, K., Ishida, T., Kishi, T.: Multi-scale Modeling of Structural Concrete: Taylor & Francis, 2009

表-1 荷重経路と作用係数

経路	荷重項目		作用係数	備考
1	固定死荷重	D_1	1.1	
2	付加死荷重	D_2	1.2	
3	乾燥収縮の影響	S_H	1.0	150 μ
4	ロングレール縦荷重	L_R	1.0	
5	温度変化の影響	T	1.0	-10℃
6	制動または始動荷重	B	1.22	従たる変動作用
7	列車荷重	L	1.34	主たる変動作用
	衝撃荷重	I	1.34	

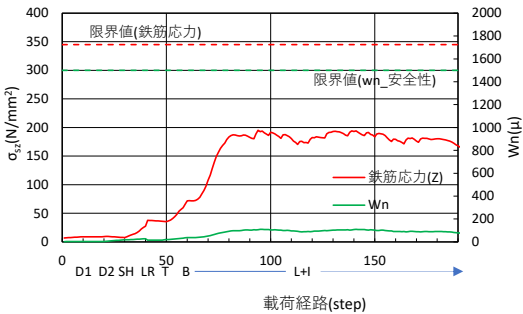


図-3 荷重経路と損傷指標の推移

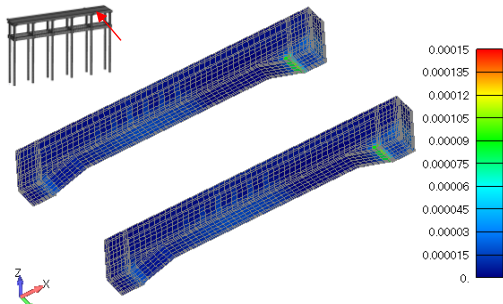


図-4 Wn 最大時のコンター図(縦梁第 5 径間)

表-2 性能照査例(安全性(破壊))

項目		縦梁	
		$W_n(\mu)$	$\sigma_z(\text{N/mm}^2)$
S_a	D1	3.8	14.1
	D2	0.3	0.4
	SH	10.3	22.2
	LR	20.4	46.1
	T	12.9	33.1
	B	47.8	77.8
	L+I	22.0	11.0
	i_c (車両動揺)	0.135	0.135
	$L+I(1+i_c)$	25.0	12.5
S		120.2	206.2
γ_{na_res}		1.1	1.1
$S_d=S \cdot \gamma_{na_res}$		132	227
R		1500	345
γ_{na_lim}		1.0	1.0
$R_d=R/\gamma_{na_lim}$		1500	345
γ_i		1.2	1.2
$\gamma_i \cdot S_d / R_d$		0.106	0.789