

UFC道路橋床版研究会

技術セミナー2023

2023/1/26

合成桁のシステム・リダンダンシーと Vulnerability

技術委員会 委員

奥井 義昭（埼玉大学）

床版取替の最近の事例

木村他：単純合成桁の床版取替に伴う桁補強設計，橋梁と基礎， Vol.56, No.6, pp.23-28, 2022より

対象橋梁：単純合成桁橋（支間45.7, 34.8） TL-20設計

補強設計の方針

- － B活荷重
- － 3次元FEMモデル格子解析の下フランジ合成後応力の
外桁70%，内桁90%で補強設計
- － 旧道示(H24)に準拠

補強量

- － 初期設計の50%の鋼重増

桁補強の実際



写真-2 ダブルフランジ補強



写真-3 下フランジ当て板補強

なぜここまで補強量が増える？

架設時の仮補強部材

- 圧縮フランジの追加
- 架設時の横つなぎ材の残置

旧道示による照査

- 新道示が出た直後，当面は旧道示で補強設計（通達）
- 旧道示/新道示の安全性のレベル異なる

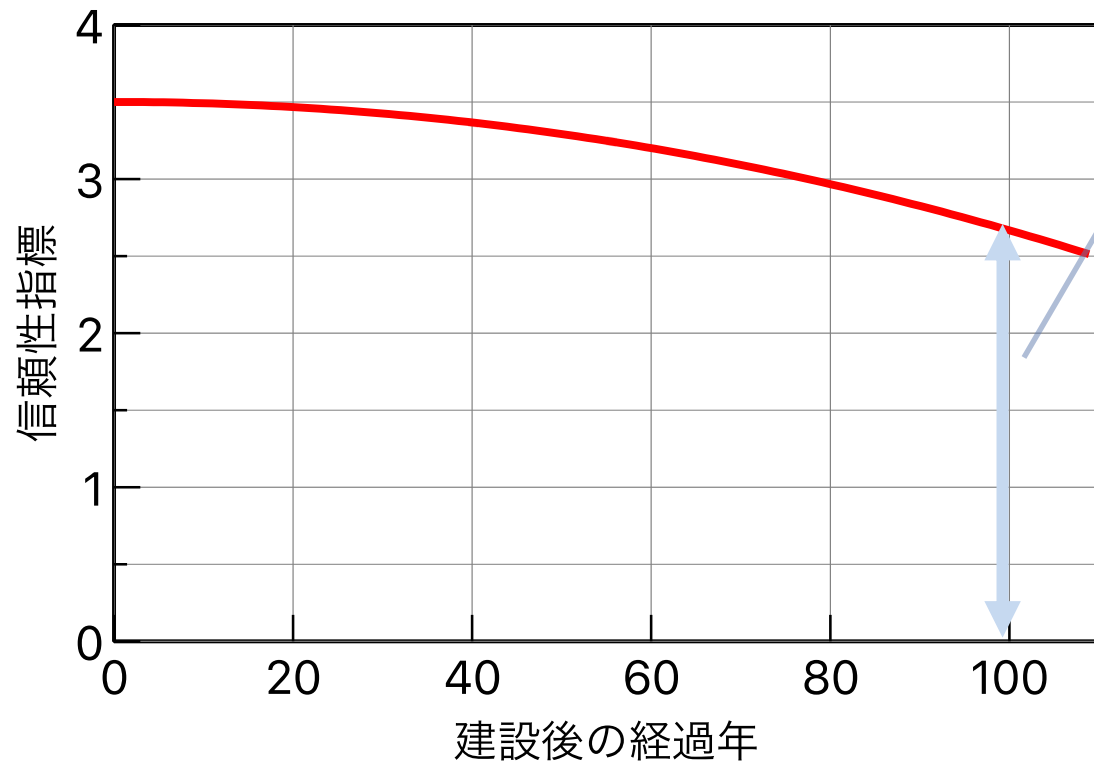
既設橋の安全性のレベル

- 橋の安全性のレベル
(新設) = (既設) ?
(新設) > (既設) … 世界標準の考え方

最低限必要な安全性のレベル:海外基準のロジック

供用時の安全性レベルの低減

(定期点検を前提として)



供用期間終了時の安全性レベル
=最低限必要な安全性レベル

供用時の保証期間 = 次の定期点検 + α
AASHTOの場合:

定期点検: 2年

保証期間: 5年

信頼性指標 β

	新設	供用時
AASHTO	3.5	2.5
ドイツ RiL805	3.8	3.2

システム・リダンダンシーと Load rating

システム・リダンダンシーとは？

2種類のリダンダンシー

- After-fracture Redundancy → 部材破断後の耐力
- System Redundancy → 部材耐力と橋梁全体系の耐荷力の差

設計では

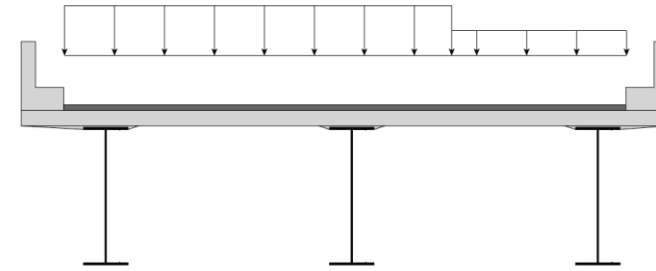
部材の終局 = 橋梁全体系の終局

...実際の耐荷性能は構造システムによって大差

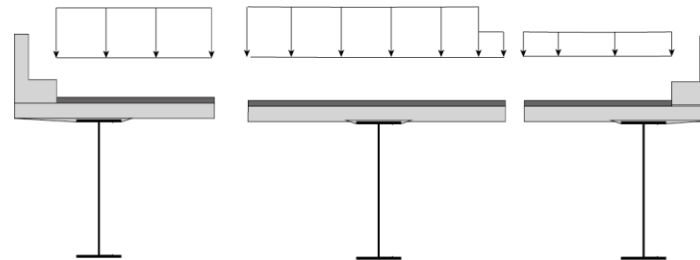
部材強度と全体耐荷力の比較

FEMモデル

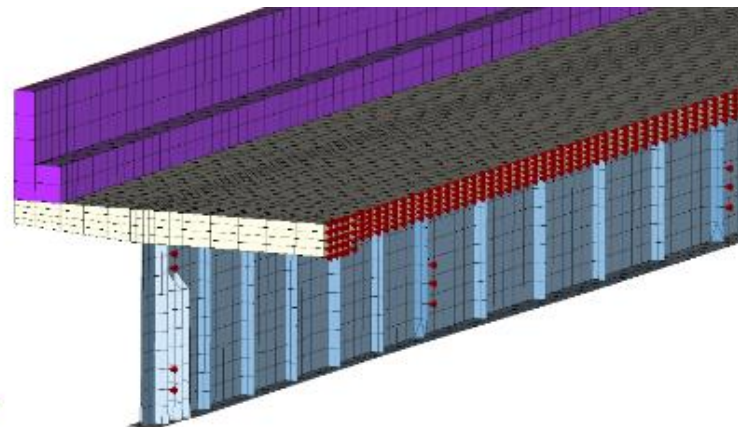
- 床版: ソリッド要素
- 主桁: シェル要素
- 対傾構など: 梁要素
- 材料非線形: 考慮
- 幾何学的非線形: 非考慮



全体橋モデル

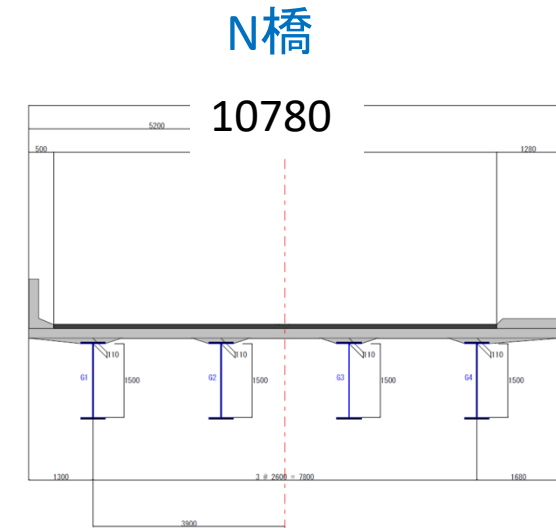
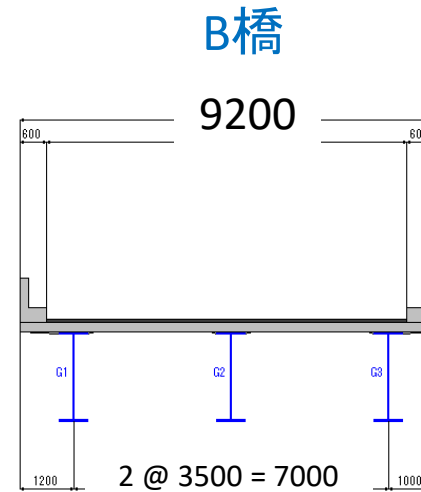
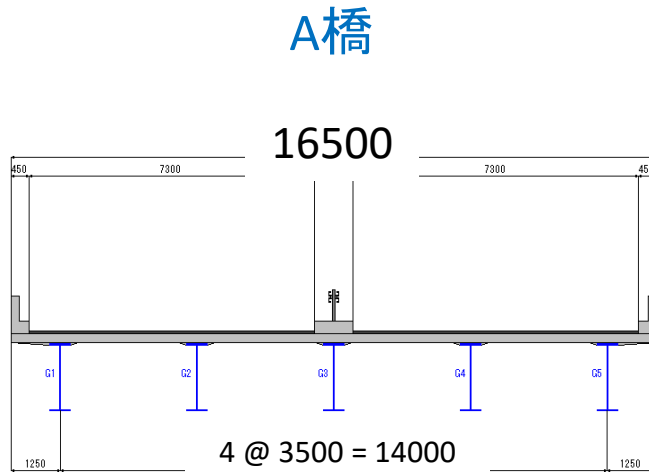


主桁ごとに分割
主桁単体モデル



主桁単体モデル
B橋 G1桁

ケーススタディのモデル橋



モデル名	A橋	B橋	N橋
形式	合成 単純桁	合成 単純桁	非合成 連続桁
スパン(m)	34.4	39.3	3@28
竣工年	1971	1983	1975
活荷重	TL-20	TL-20	TL-20

荷重載荷方法と終局判定

荷重載荷方法

- (1) 死荷重係数 1.05まで載荷
 - － 合成桁では前死：鋼断面に，後死：合成断面
- (2) 活荷重係数 λ を増加

終局判定

A, B橋(単純合成桁):

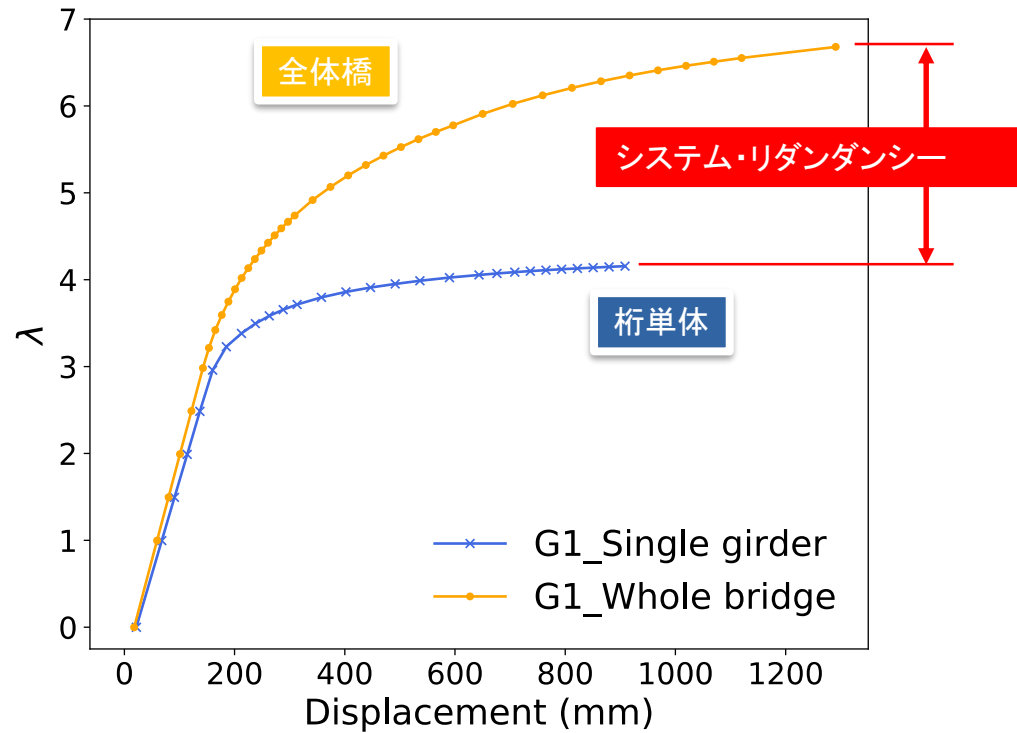
コンクリート床版ひずみ $=0.0035$ が床版幅の30%

N橋(非合成連続桁):

支間中央: 下フランジのひずみ $=$ 降伏ひずみの10倍

中間支点上: 横倒れ座屈の限界値

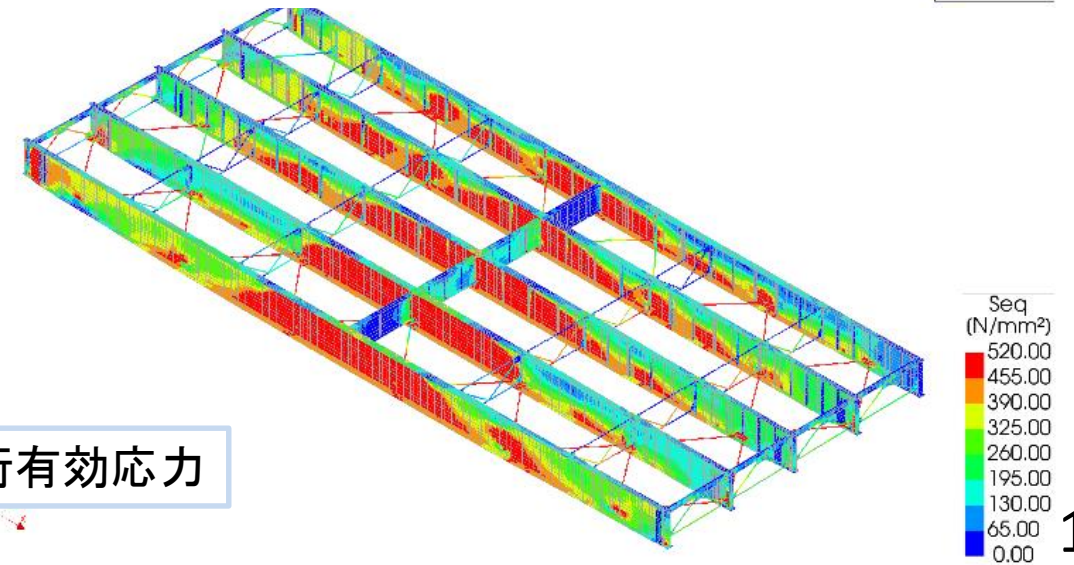
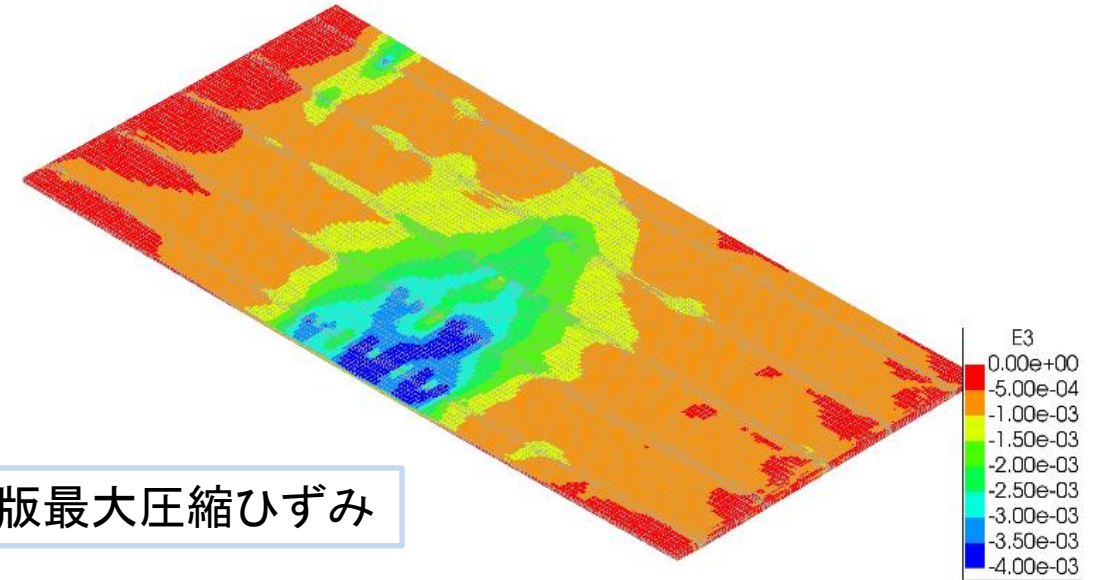
A橋：解析結果



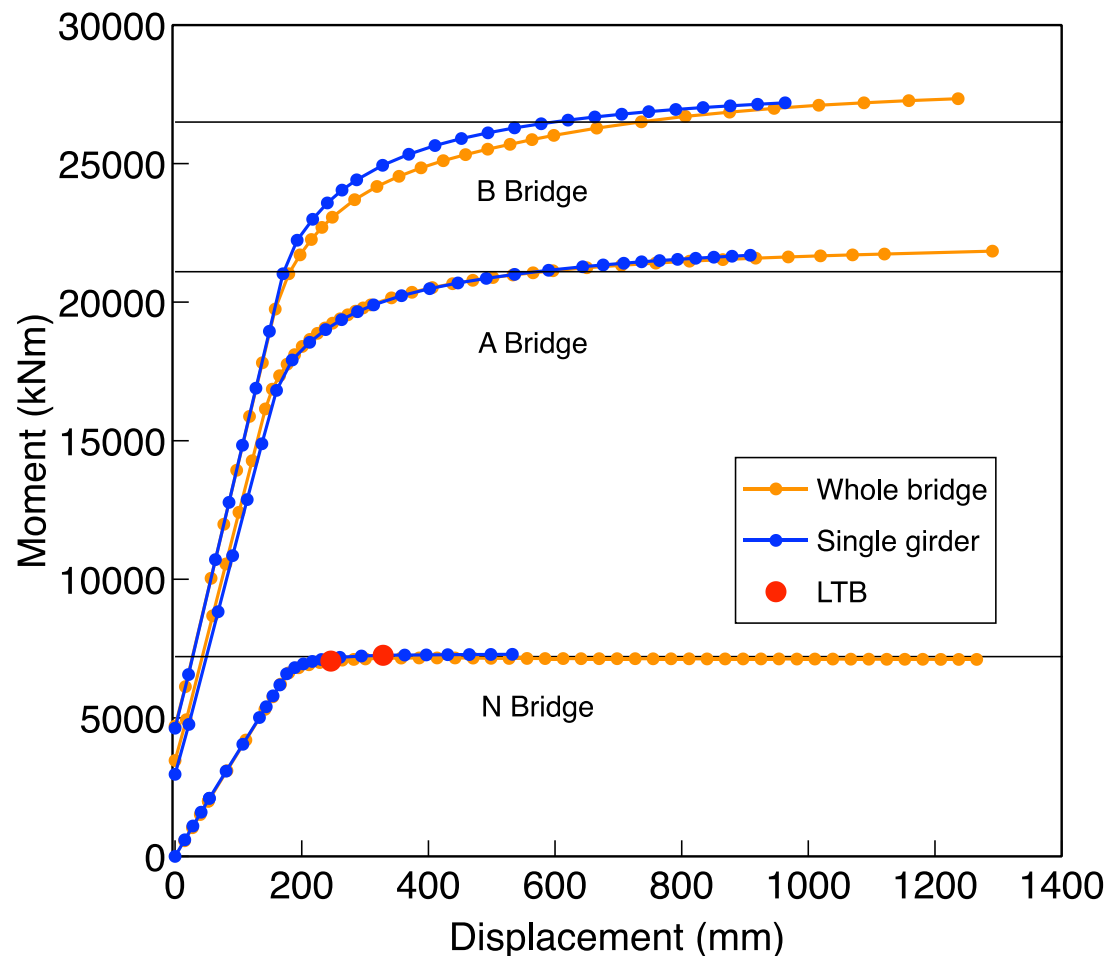
活荷重係数-たわみ関係

終局時の応力・ひずみ分布

終局時=床版幅の30%が圧縮ひずみ0.0035



曲げモーメントとたわみの関係



□ 曲線の終点が終局点

A, B橋(合成桁): 床版の終局ひずみ 0.0035

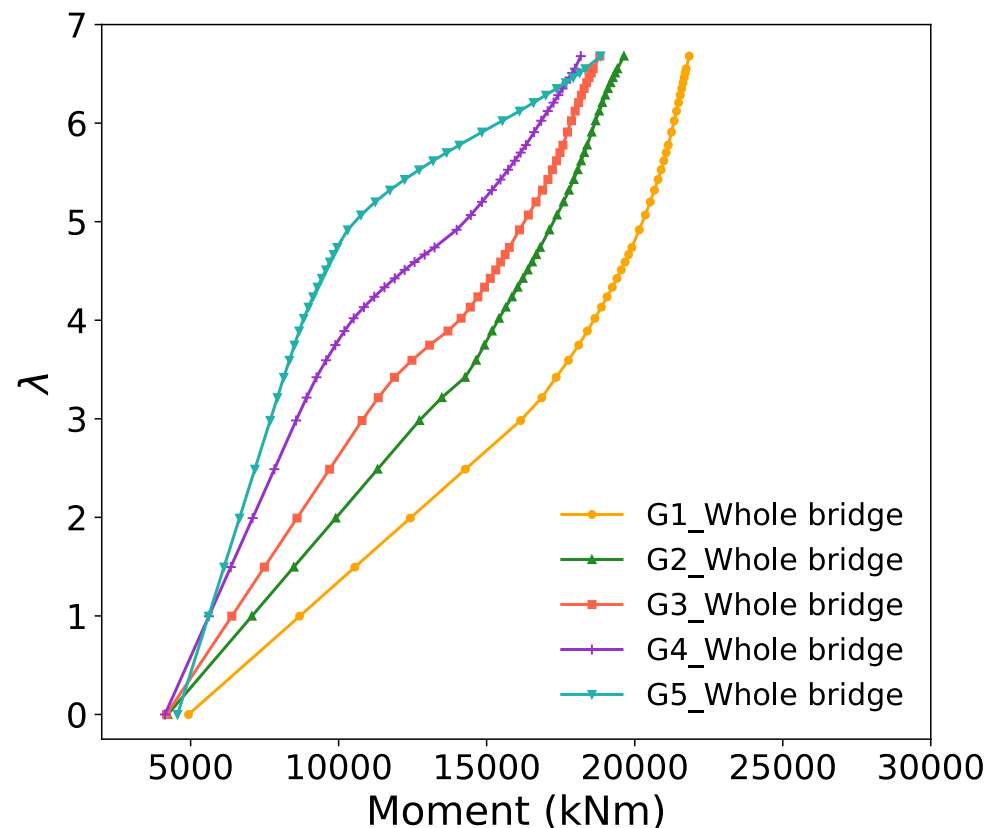
N橋(非合成桁): 支間中央下フランジひずみ $10\varepsilon_y$

□ 耐荷性能(最大活荷重係数)は異なるが、
終局時の曲げモーメントは同じ

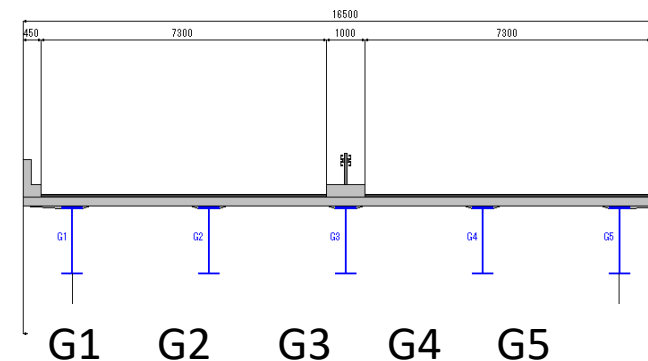
□ 3橋とも全塑性モーメントに達している
(水平な黒線: 全塑性モーメント)

□ 連続桁では支間中央が終局になる前に中間支
点上の横倒れ座屈で終局
(● LTB: 中間支点での横倒れ座屈による終局)

リダンダンシーのメカニズム



A橋(全橋モデル)の活荷重係数と
各主桁の曲げモーメントの関係



G1桁 塑性化→剛性低下

→曲げモーメントG2へ移行 → G2剛性低下

→曲げモーメントG3へ移行 → G3剛性低下

→ ...

線形解析:

モーメント再配分考慮出来ない

非線形解析:

剛性低下によるモーメント再配分考慮

システム係数の提案

システム係数の定義：

線形解析で求まるRF値を非線形解析で求まるRF値に変換する係数

$$\phi_s = 1.0 + \frac{L + I}{C}(\lambda - \lambda^*)$$

$\phi_s > 1.0 \rightarrow$ リダンダンシーあり
 $\phi_s = 1.0 \rightarrow$ リダンダンシーなし

終局時の活荷重係数

$\lambda =$ 非線形解析

$\lambda^* =$ 線形解析

$$RF = \frac{\phi_c \phi_s C - \gamma_D D}{\gamma_L (L + I)}$$

D = 死荷重効果

γ_D = 死荷重係数

L = 活荷重効果

γ_L = 活荷重係数

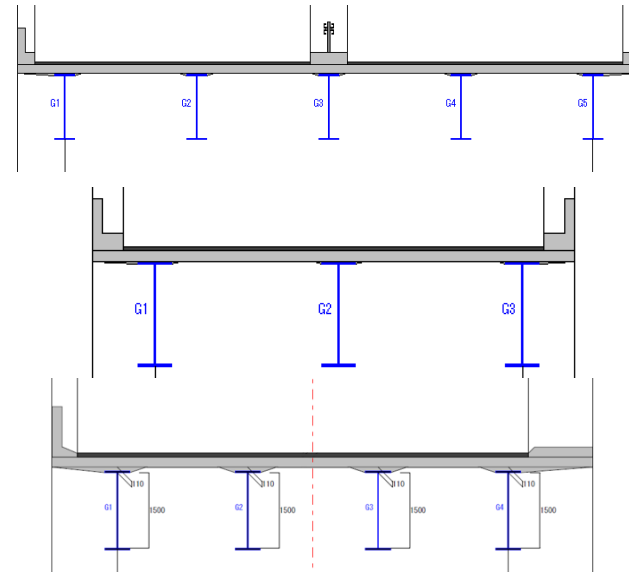
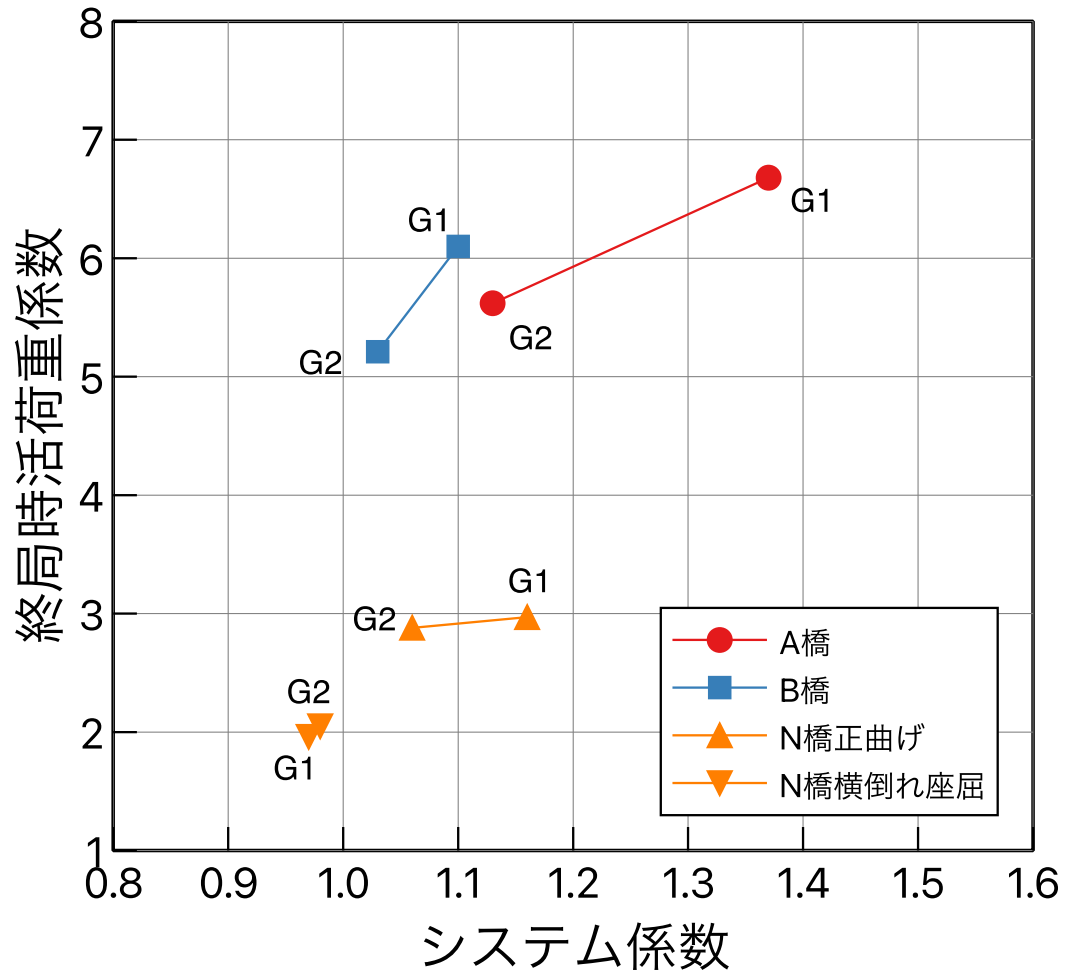
I = 衝撃

C = 部材耐力

ϕ_c = 状態係数(点検結果より)

ϕ_s = システム係数(リダンダンシーの考慮)

システム係数のまとめ



- 主桁本数が増えるとシステム係数増加
- 外桁と内桁では外桁システム係数大
- 連続桁では支間中央 M_{max} の活荷重載荷でも
中間支点上の横倒れ座屈で終局. システム係数ほぼ1.0

2主桁 vs 多主桁



VS



冗長性低い

冗長性高い

2発 vs 4発



[Carlos Delgado](#) – 777-31H Emirates

VS



[Rafael Luiz Canossa](#) - [747-8i](#) Lufthansa

冗長性低い
燃費良い
故障確率低い

冗長性高い
燃費悪い
故障確率高い

Vulnerability (脆弱性...傷つきやすさ)



VS



冗長性低い
メンテコスト低い
傷つきにくい

冗長性高い
メンテコスト高い
傷つきやすい

桁補強の実際



写真-2 ダブルフランジ補強



写真-3 下フランジ当て板補強

論点のまとめ

5年にごとの定期点検前提

安全保証期間 （新設100年，既設?年）

点検の信頼度 （高速道路/国道/県道/市町の道路）

点検不可部材の取り扱い

Redundancy（冗長性）

Vulnerability（傷つきやすさ）

劣化曲線

目標信頼性

社会が許容する安全余裕度

実態交通荷重と設計活荷重