

# 平成28年度 橋梁技術発表会

## 橋台ジョイントレス構造の設計もこれでスッキリ － 鋼-コンクリート接合部の設計方法について－

技術委員会 設計小委員会

[ 峯山友紀 / 楠田広和 ]



1

## 発表内容

1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

本発表は、

(国)土木研究所, 大阪工業大学, (一社)日本橋梁建設協会による  
共同研究の成果の一部を報告するものである。

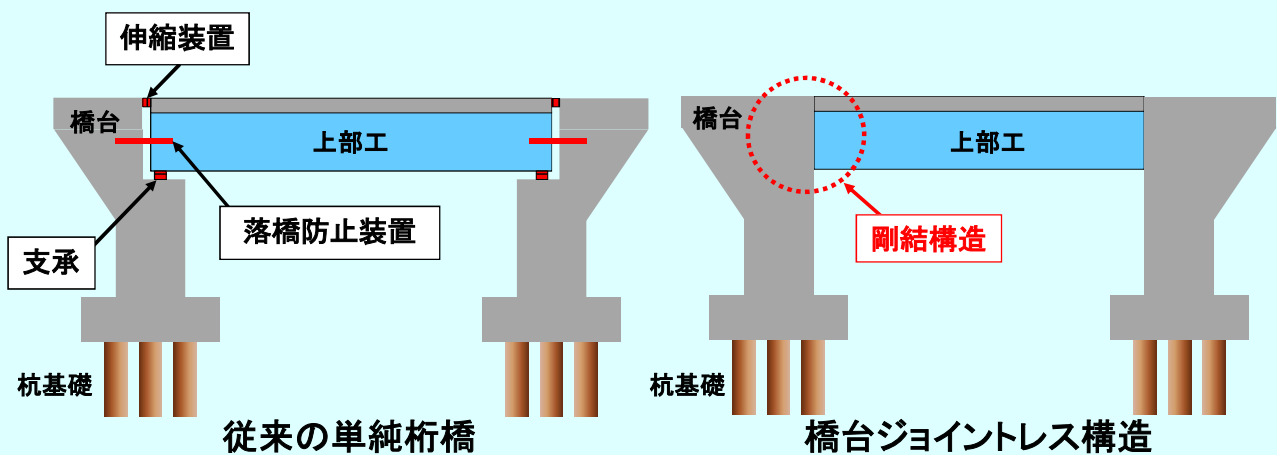
2

# 1. 橋台ジョイントレス構造について

2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

3

## 1. 橋台ジョイントレス構造



ハタボキ谷橋(2008年竣工)

- ・コスト低減
- ・維持管理の負荷低減
- ・高い耐震性

短期間で施工可能・重量が軽い  
⇒河川上やオーバースで普及を図りたい

4

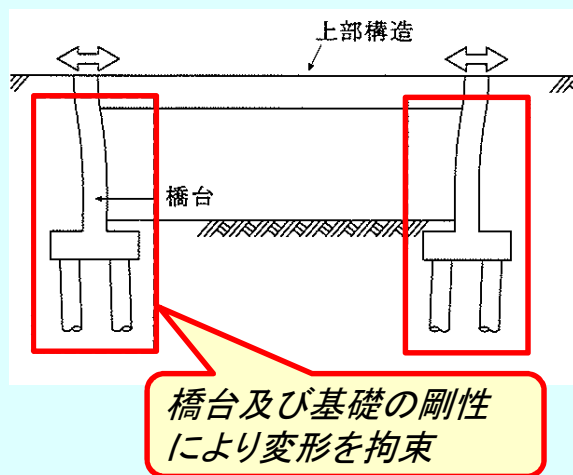
# 鋼桁を用いた橋台部ジョイントレス構造の概要

構造形式	橋台ジョイントレス構造(鋼上部構造)	
	門型ラーメン構造	インテグラルアバット構造
概略図		
接続部概要図		
支承条件	無(剛結)	無(剛結)
伸縮装置	無	無
適用条件	径間長50m程度 橋台高さ15m程度	径間長40m程度 橋台高さ10m程度

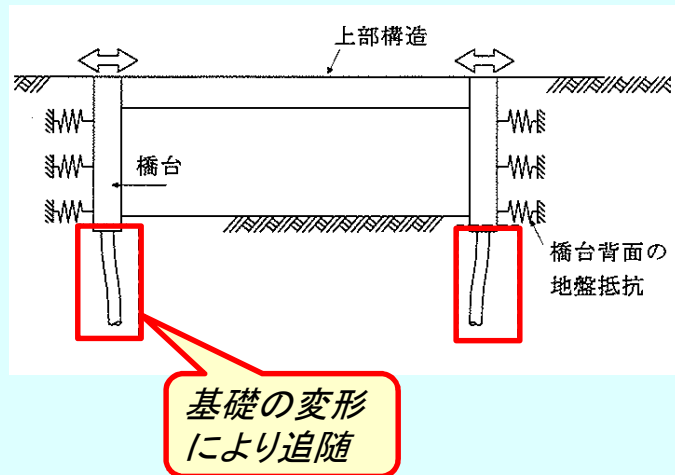
5

# 鋼桁を用いた橋台部ジョイントレス構造の概要

温度変化等に伴い上部工に生じる変形に対して・・・



門型ラーメン構造



インテグラルアバット構造

※道路橋示方書・同解説IV下部構造編P.257より抜粋

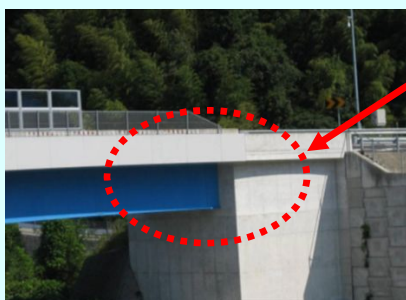
6

1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

7

## 2. 研究の背景と目的

橋台ジョイントレス構造・・・



上部工を橋台に直接接合  
↓  
支承・伸縮装置の省略  
↓  
コスト縮減  
維持管理の負荷軽減等

◇米国では・・・

1930年頃に開発、現在まで約2万橋の実績

◇日本では・・・

- ・設計法が未整備
- ・橋台背面舗装の損傷などの維持管理上の課題

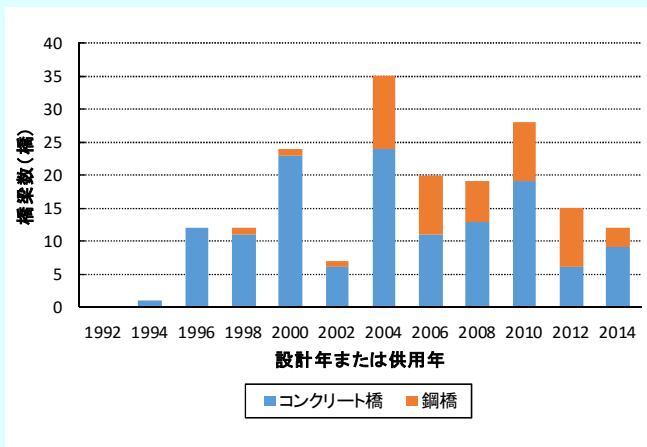
⇒現在まで広く普及するに至っていない。

8

## 2. 研究の背景と目的

### 国内の橋台ジョイントレス構造の実績

- ・国内実績は185橋（鋼橋、コンクリート橋）
- ・鋼橋の実績は50橋（27%） → 実績を増やしたい！
- ・185橋のうち約80%が門型ラーメン構造



高速道路会社で実績多数、  
自治体での採用実績  
を増やしたい

## 2. 研究の背景と目的

◇平成18～21年度に、橋台ジョイントレス構造の設計法に関する共同研究が実施された。

⇒インテグラルアバット構造の

設計・施工ガイドライン(案)を作成



◇平成24年版道路橋示方書  
IV下部構造編に、  
「橋台ジョイントレス構造」  
に係わる規定として導入。



## 2. 研究の背景と目的

◇一方で…

鋼桁とRC橋台の接合部(以下、鋼コンクリート接合部)について、具体的な照査方法が明らかでないため、要求性能と設計照査の基本的な考え方のみが示されている。



◇そこで、橋台ジョイントレス構造の普及を図るため、鋼-コンクリート接合部の要求性能を満足させる照査方法や構造細目、施工方法等を提案することを目的に共同研究を実施している。

11

1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

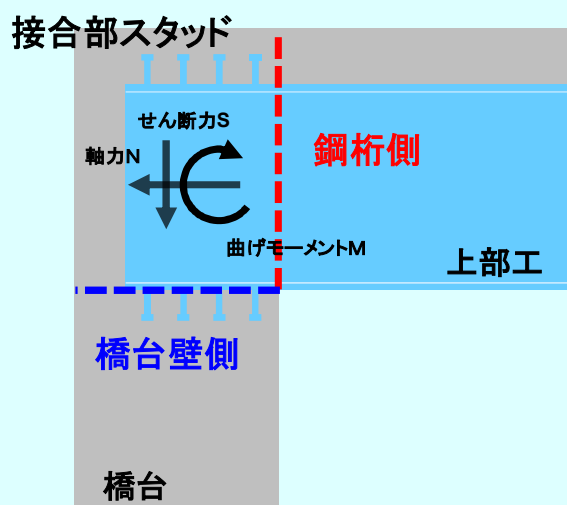
12

# 鋼-コンクリート接合部の耐力特性

- ◇インテグラルアバット構造と門型ラーメン構造の構造特性の違いを踏まえ、鋼-コンクリート接合部の耐力特性・挙動を評価する各種実験や有限要素解析などの基本条件を提供することを目的に全体系平面骨組み解析を実施
- ◇全体系平面骨組み解析により試設計した全ケースで鋼-コンクリート接合部は、常時荷重と温度荷重の組み合わせで必要スタッド本数が決定
- ◇道示及びその根拠実験におけるスタッド許容せん断力は、降伏に対して3以上、破壊に対して6以上の安全率を考慮。本構造のような剛域におけるずれ性状を確認するため、スタッドの許容せん断力を道示Ⅱ12.5.5の評価式で算定される値の2倍として安全率を半分に低減させて必要本数を配置
- ◇全ケースでフランジを拡幅することなくスタッド配置が可能

13

# 鋼-コンクリート接合部の耐力特性



点検の容易さや橋の使用性等を考慮し、損傷を橋台壁側に確実に誘導できるか？

- ◇インテグラルアバット構造と門型ラーメン構造を対象に鋼-コンクリート接合部の最初の塑性化部位を検討
- ◇鋼-コンクリート接合部の塑性化部位は、いずれのケースも供用への影響等が小さい橋台壁側となった

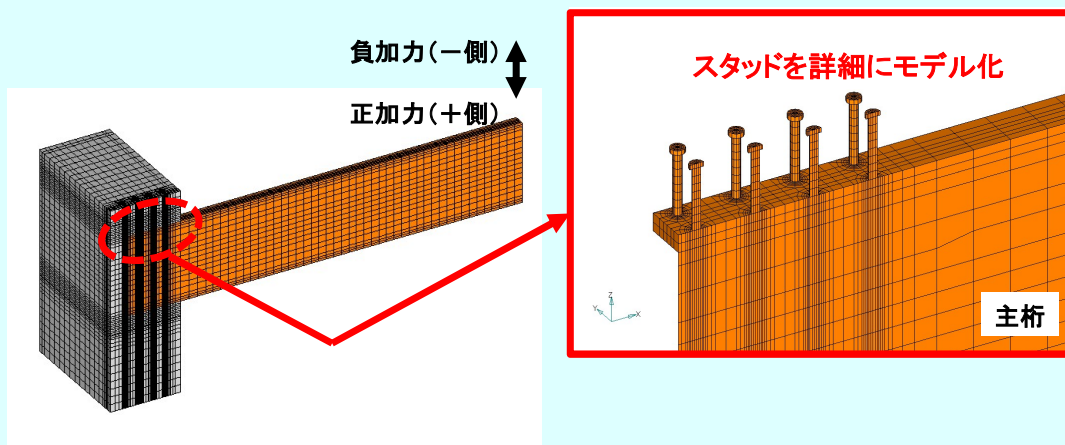
14

# 鋼-コンクリート接合部の耐力特性

◇実験では直接計測できない

- ①作用力に対するスタッドせん断抵抗力
- ②フランジ支圧抵抗力

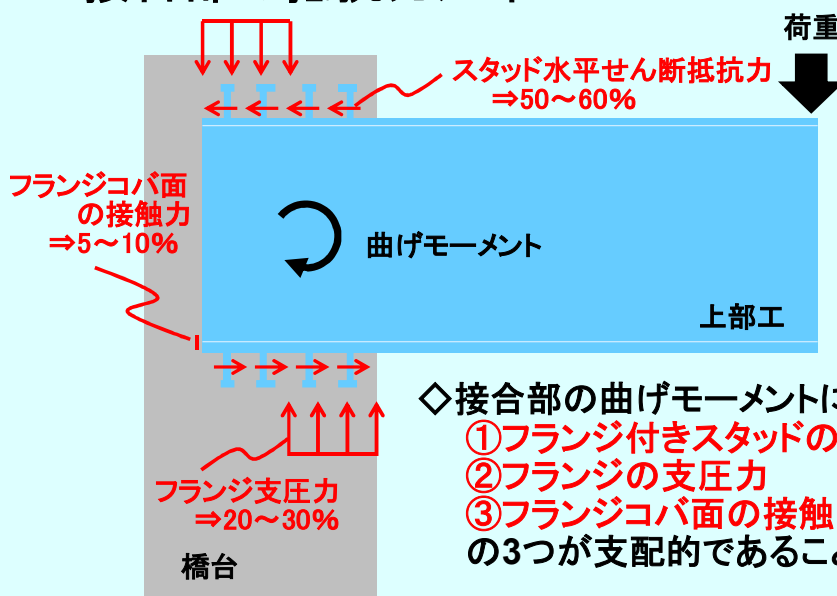
などの抵抗割合を明らかにする。



解析モデル概要図

# 鋼-コンクリート接合部の耐力特性

## 接合部の抵抗力比率



◇接合部の曲げモーメントに対する抵抗力は  
 ①フランジ付きスタッドの水平せん断力  
 ②フランジの支圧力  
 ③フランジコバ面の接触力  
 の3つが支配的であることを確認できた

◇1本あたりのスタッドの許容せん断力を、道路橋示方書の評価式で算定される値の2倍として、安全率を半分に低減させた上で、必要本数を配置した解析モデルにおいて、接合部の曲げモーメントに対してフランジ付きスタッドの水平せん断力で50~60%程度負担していることが確認できた



1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
- 4. 斜橋の影響**
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

## 解析の目的

斜角を有する門型ラーメン構造に対する設計上の留意点を明確にするため、格子解析および有限要素解析を実施し、

- ①格子解析の限界
- ②構造的限界

について、検討する。

※本研究では、橋台背面の土圧を考慮して設計を行うインテグラルアバット構造では、斜角を有する場合に、橋台背面の地盤抵抗が設計上期待したとおりに発揮されるか不明であるため、直橋のみとして斜橋の影響については対象外とした。

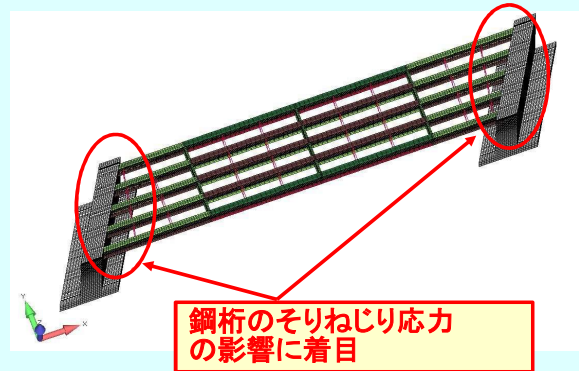
## 解析の目的

### ①格子解析の限界

- ・格子解析で設計する場合，そりねじりを考慮できない
- ・斜角が小さくなるとそりねじりの影響が大きくなる



- ・斜角が何度まで小さくなるとそりねじりを考慮して設計する必要があるかを検証
- ・格子解析と有限要素解析の結果を比較し，**鋼桁のそりねじり応力**の影響に着目し，鋼桁の応力性状を確認



※本検討では**非合成桁**を対象

19

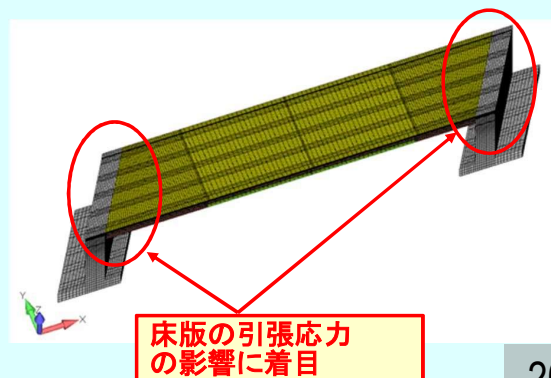
## 解析の目的

### ②構造的限界

- ・斜角が何度まで小さくなると門型ラーメン構造を採用できなくなるか



- ・**床版の引張応力の影響**に着目し，直橋と斜橋を比較して，発生応力の差違を確認
- ・剛結部の影響に着目し，直橋モデルと斜橋モデルを比較して，斜角による応力集中など発生応力の差違を確認



※本検討では**合成桁**を対象

20

# 解析対象

- 1) 多主桁橋を対象⇒地方自治体への普及
- 2) 斜角: 60°, 75°, 90°
- 3) 全橋をモデル化
- 4) 弾性解析⇒斜角の影響のみを確認
- 5) 汎用有限要素解析プログラム  
ABAQUS V.6.13-15)を使用
- 6) 下部工の照査は対象外とした

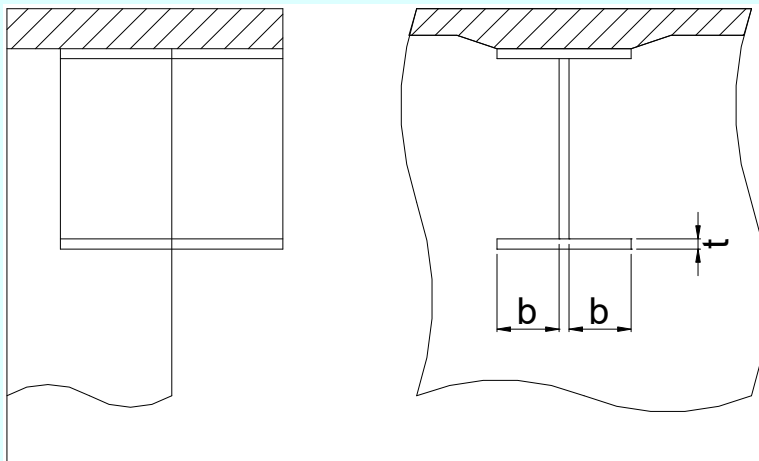
## 解析ケース

解析 ケース	斜角	
	格子解析の限界	構造的限界
Case1	60°	60°
Case2	75°	75°
Case3	90°	90°

21

# 解析対象

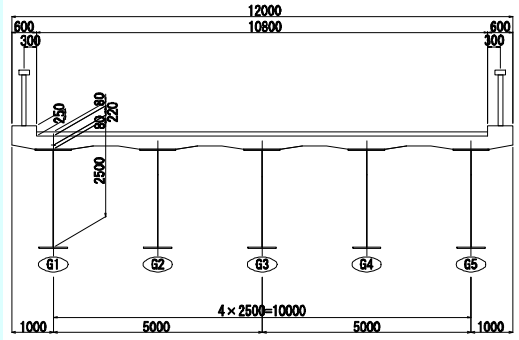
- 7) 鋼-コンクリート接合部のフランジ断面は、  
限界幅厚比以下の断面として設定した。



$$R = \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k}}$$

22

# 解析対象

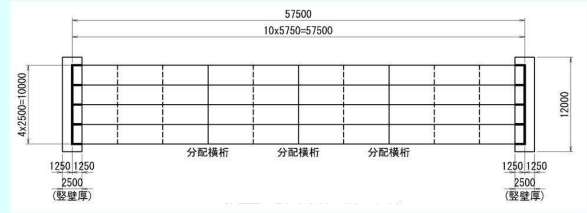


上部工断面図

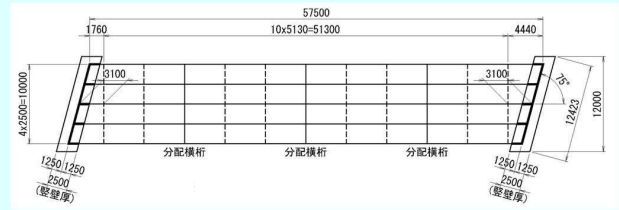
## 基本条件

目的	(1) 格子解析の限界	(2) 構造的限界
上部工形式	単純非合成 多主桁桁橋	単純合成 多主桁桁橋
橋長	60m	60m
全幅	12m	12m
橋台高	15m	15m
平面線形	R=∞	R=∞
床版形式	RC床版 (モデル化無)	RC床版 (モデル化有)

※太線部分は剛域とする。  
破線は仮想部材を示す。



(a) 斜角90°



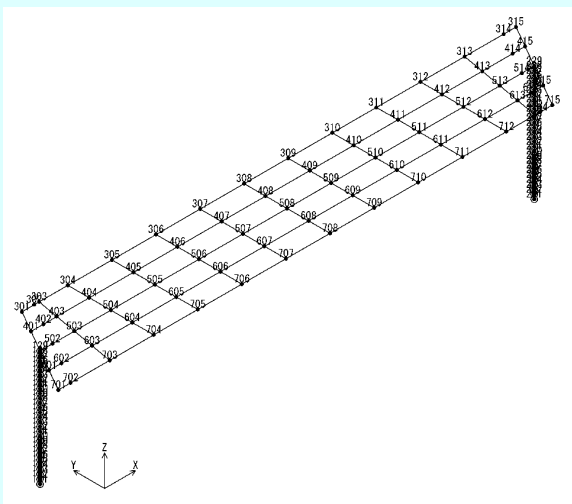
(b) 斜角75°



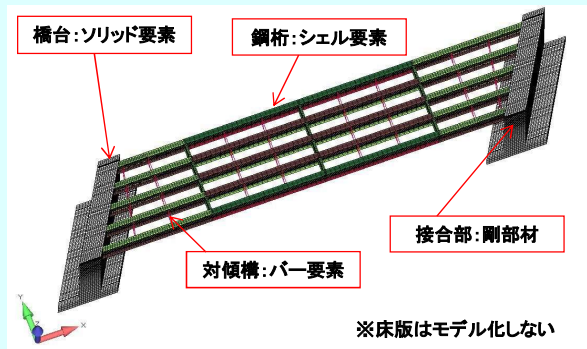
(c) 斜角60°

上部工平面図

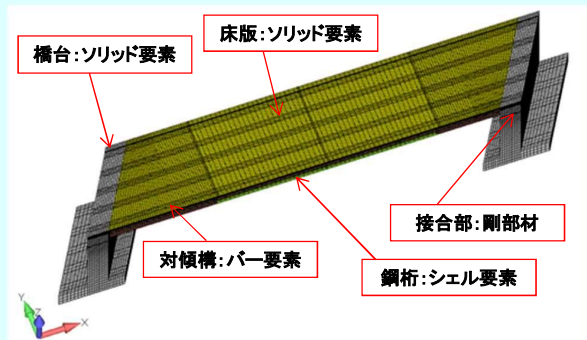
# 解析モデル



格子解析(斜角60°)



(a) 非合成桁



(b) 合成桁

有限要素解析(斜角60°)

# 材料条件および荷重条件

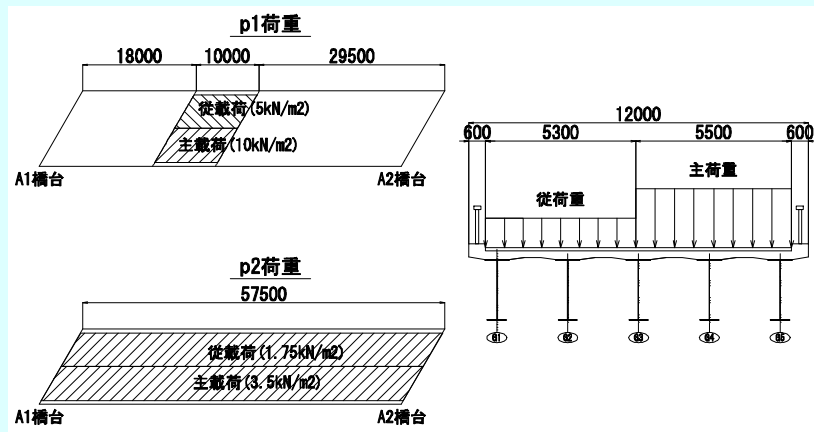
材料条件

		ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	線膨張係数	備考
鋼		$2.0 \times 10^5$	0.3	$12 \times 10^{-6}$	
コンクリート	橋台	$2.5 \times 10^4$	0.2	$10 \times 10^{-6}$	$\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$
	床版	$2.65 \times 10^4$ $\times 1.0 \times 10^{-6}$	0.2	$12 \times 10^{-6}$ $\times 0.0$	$\sigma_{ck} = 27\text{N/mm}^2$

※格子解析の限界(非合成桁)の解析モデルの場合を示す

活荷重載荷位置概要図

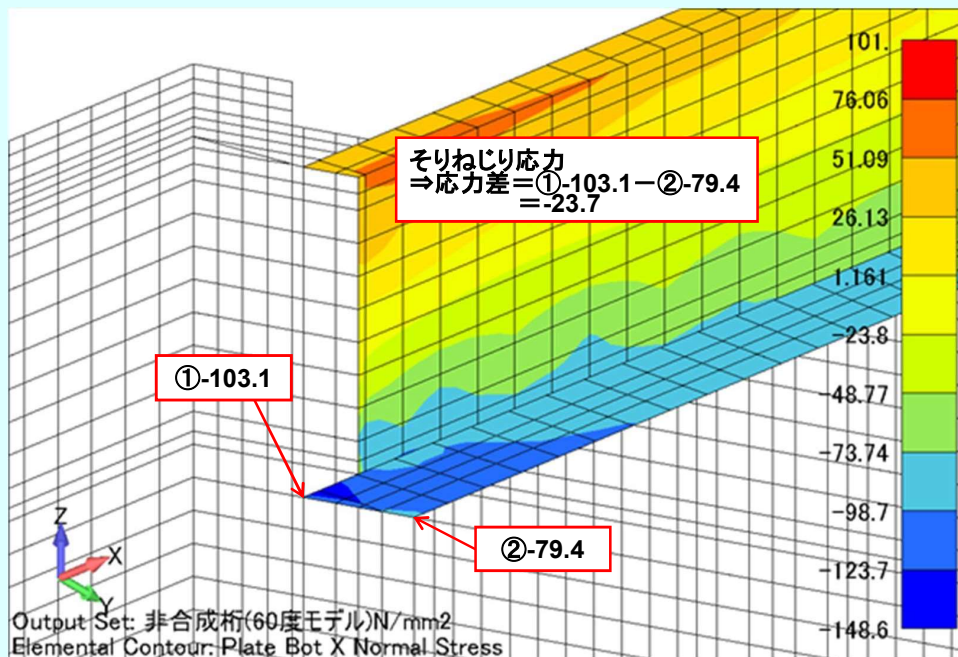
- 載荷荷重
- ・死荷重
  - ・活荷重
  - ・土圧
  - ・温度変化



# 解析結果(①格子解析の限界)

鋼桁と橋台境界部の下フランジのそりねじり応力

⇒下フランジ幅両端位置の橋軸方向直応力の応力差として算出



フランジそりねじり応力の算出概要(斜角60°, A1橋台, G5桁)

# 解析結果(①格子解析の限界)

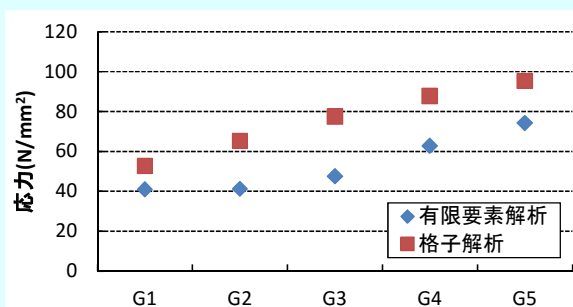
下フランジに発生するそりねじり応力の比率

		A2橋台				
		G1	G2	G3	G4	G5
斜角90°	橋軸方向直応力 $\sigma_1$	61.7	67.4	73.1	78.4	81.9
	そりねじり応力 $\sigma_2$	10.4	7.4	1.3	2.5	5.6
	そりねじり応力比率	14%	10%	2%	3%	6%
斜角75°	橋軸方向直応力 $\sigma_1$	59.3	64.7	70.2	76.4	83.9
	そりねじり応力 $\sigma_2$	23.6	22.5	15.8	10.1	7.9
	そりねじり応力比率	29%	26%	18%	12%	9%
斜角60°	橋軸方向直応力 $\sigma_1$	59.7	63.1	68.0	75.7	86.1
	そりねじり応力 $\sigma_2$	27.1	24.8	3.1	2.9	0.3
	そりねじり応力比率	31%	28%	4%	4%	0%

斜角が小さくなるほど、そりねじり応力が大きくなる

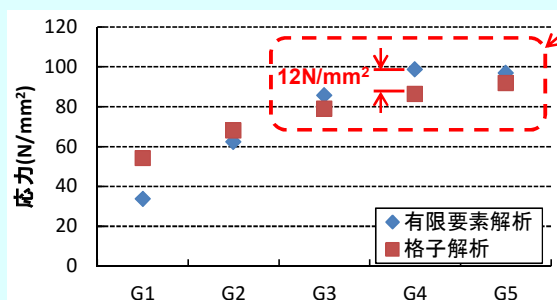
# 解析結果(①格子解析の限界)

フランジ橋軸方向直応力(A1橋台側上フランジ)

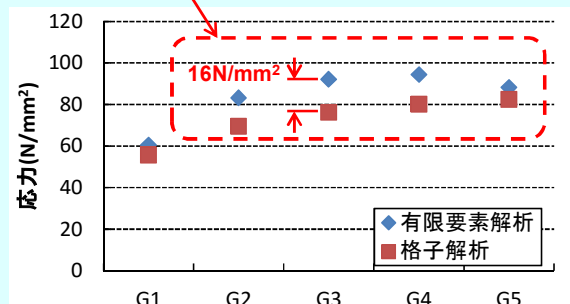


(a) 斜角90°

上フランジの一部で  
格子解析より有限要素解析の  
値の方が大きくなる



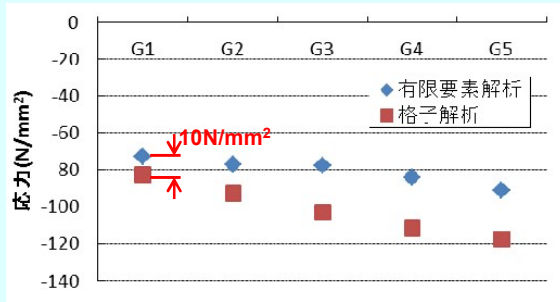
(b) 斜角75°



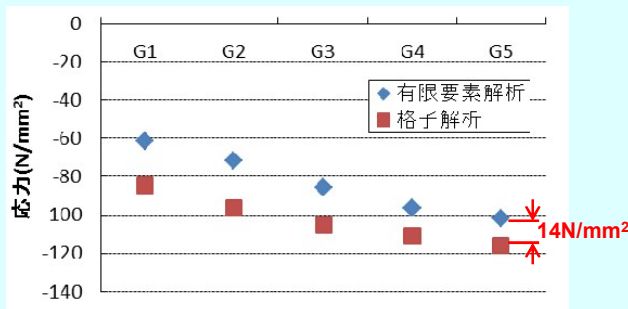
(c) 斜角60°

# 解析結果 (①格子解析の限界)

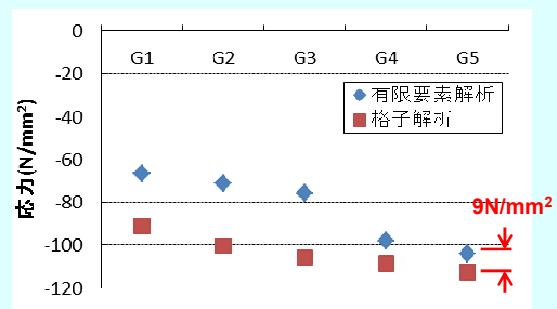
フランジ橋軸方向直応力 (A1橋台側下フランジ)



(a) 斜角90°



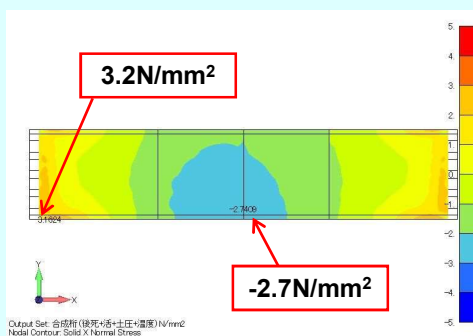
(b) 斜角75°



(c) 斜角60°

# 解析結果 (②構造的限界)

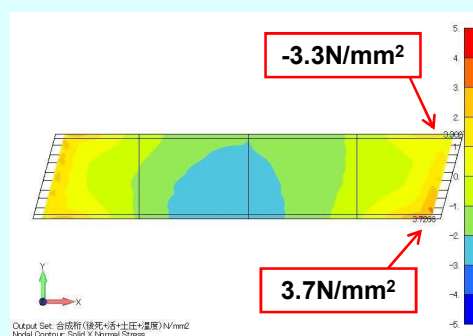
床版橋軸方向応力 $\sigma_x$ コンター図 (床版上面)



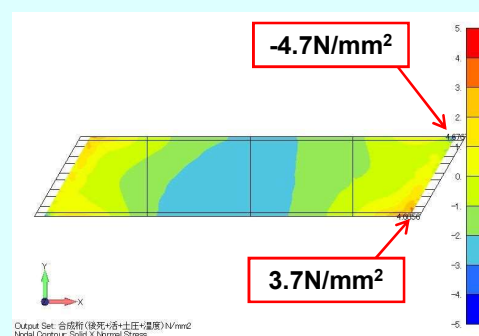
(a) 斜角90°

斜角が小さい場合、  
鈍角側で局部的に大きな  
引張応力度が生じていた

※プラス: 引張側, マイナス: 圧縮側



(b) 斜角75°



(c) 斜角60°

## 解析結果(②構造的限界)

### 必要鉄筋量

	斜角75°	斜角60°
床版橋軸方向発生応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.7	4.7
鉄筋のみで負担する応力度 $\sigma_t'$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.7	2.7
単位幅当たりの作用力 P (N)	374000	594000
必要鉄筋量 $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	2672	4243

### 道示Ⅱ9.2.6

⇒最大径D22, 最小鉄筋中心間隔100mm  
D22, 100mm間隔: 鉄筋単位面積3871mm<sup>2</sup>

3871mm<sup>2</sup>  
以下

3871mm<sup>2</sup>  
以上

今回対象とした解析ケースにおいては,  
斜角75° までであれば局所的に床版の引張応力は大きくなるが,  
床版鉄筋や補強鉄筋の追加で対応できるレベルである

斜角75° 程度に抑えた設計とするのが望ましい

31

1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

32



# 解析の目的

ずれ止めに頭付きスタッドを用いた鋼-コンクリート接合部を対象とした過年度の供試体実験，有限要素解析の結果より，レベル1地震動や常時荷重の組合せ最大ケースで断面決定した鋼桁および橋台壁であれば，レベル2地震動に対して十分なじん性を発揮することが検証されている。



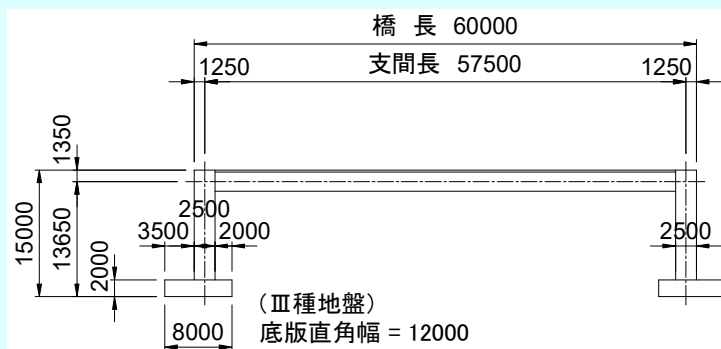
門型ラーメン構造全体系に対するレベル2地震動の影響は明らかにされていない。



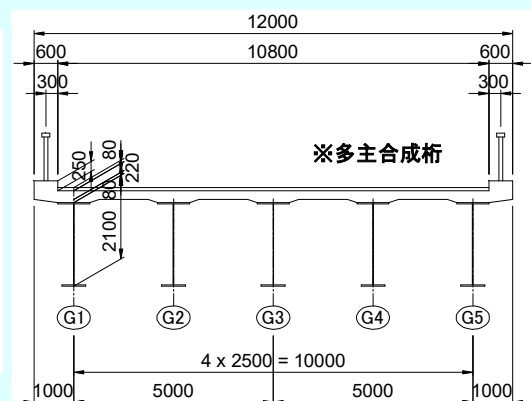
門型ラーメン構造全体系に対してプッシュオーバー解析を実施し，レベル2地震動の影響を明らかにする。

# 解析対象

過年度に試算した32ケースのうち，最も地震の影響を受けやすい支間長が長く橋台高が低いケースを解析対象とした。

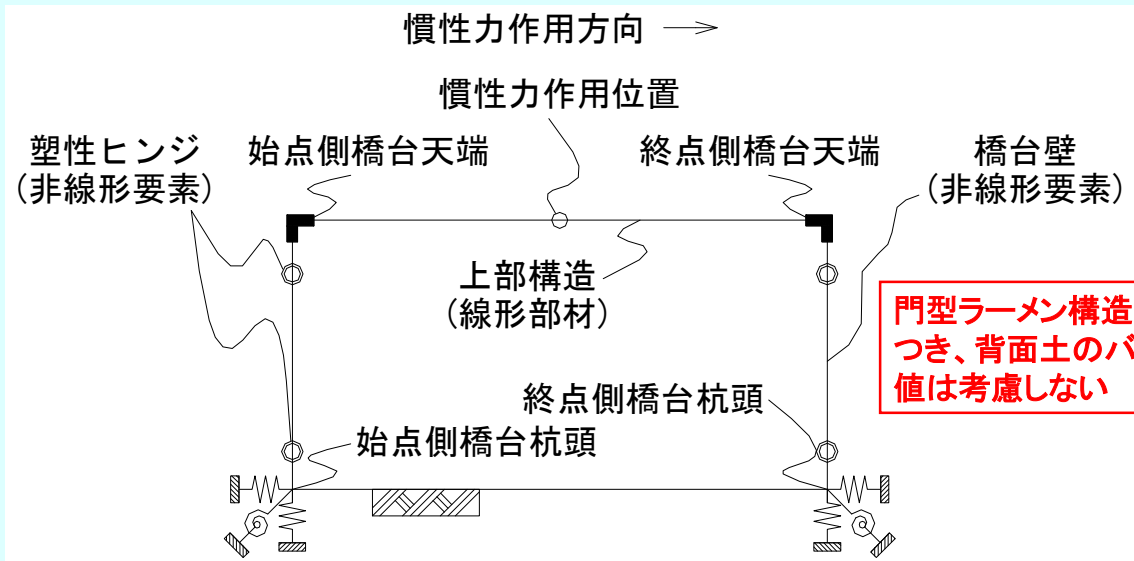


側面図



上部工断面図

# 解析概要



門型ラーメン構造につき、背面土のバネ値は考慮しない

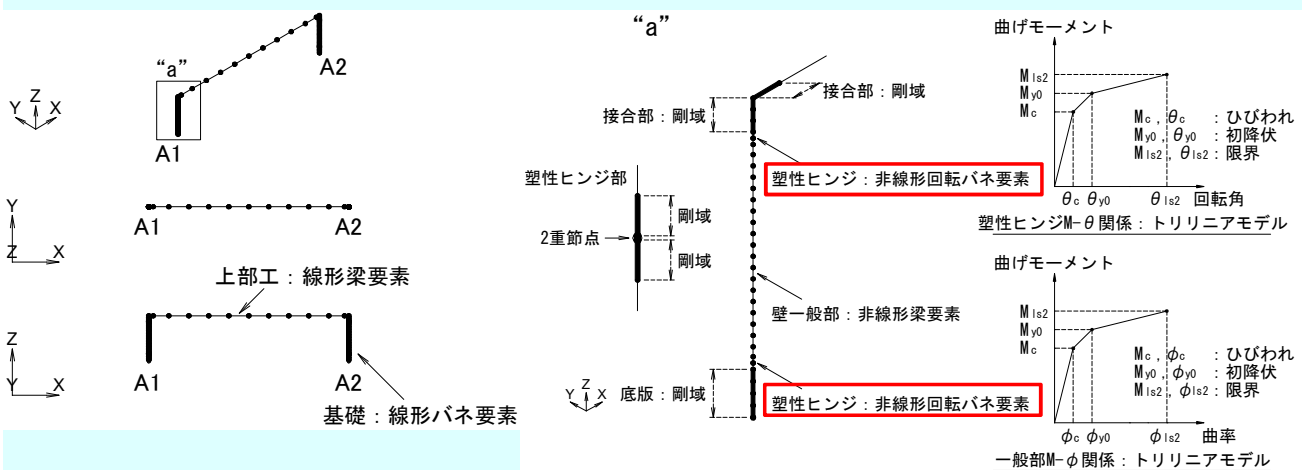
プッシュオーバー解析モデル概要図

適用基準: 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編(平成24年3月)

初期断面力: 死荷重

解析ソフト: TDAP III Ver3.02 アーク情報システム

# 解析モデル



プッシュオーバー解析モデル

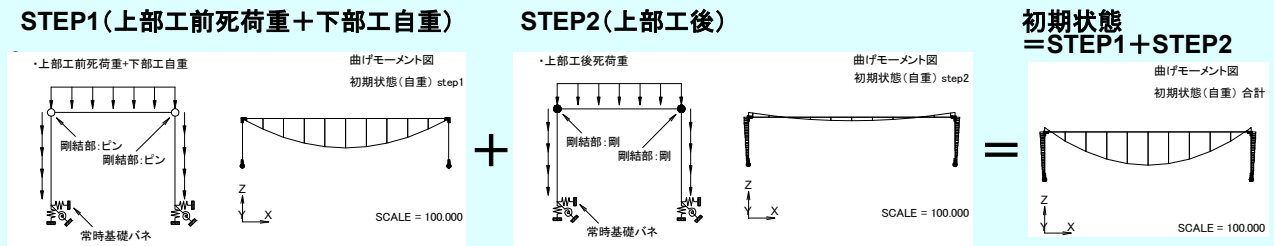
接合部の耐力階層化を目的とした信頼性解析結果より、材料強度のばらつき等あっても、鋼桁や接合部より前に橋台壁が終局に至ることを確認



上部工は線形梁要素でモデル化

# 解析条件

## 1) 初期状態: 架設ステップを考慮した死荷重時



## 2) 作用: 初期荷重載荷後に

漸増荷重を設計水平震度  $K_h=0$  から漸増載荷

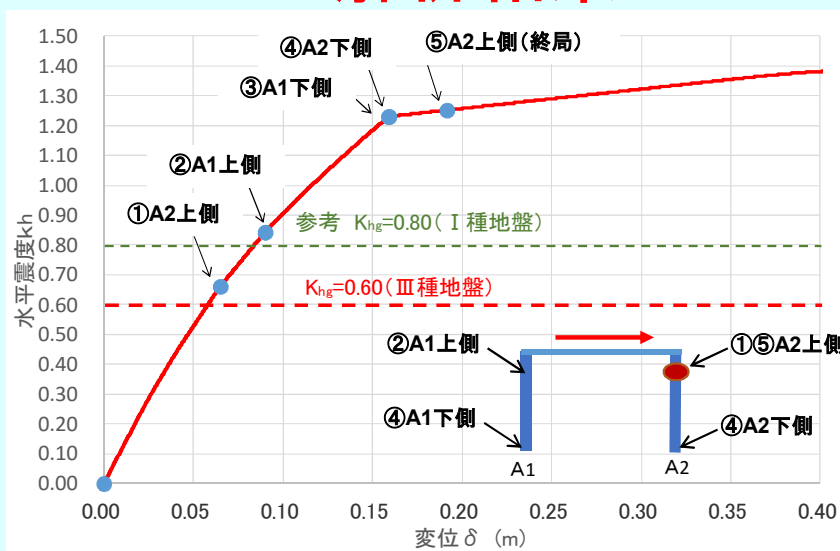
## 3) レベル2地震動に対する耐震性能は,

地盤面設計水平震度  $K_{hg}=0.60$  で照査

※  $K_{hg}=0.60$ : 道示 V 6.4.3 に示される Ⅲ種地盤のレベル II

地震動(タイプ II)の地盤面における設計水平震度の標準値

# 解析結果

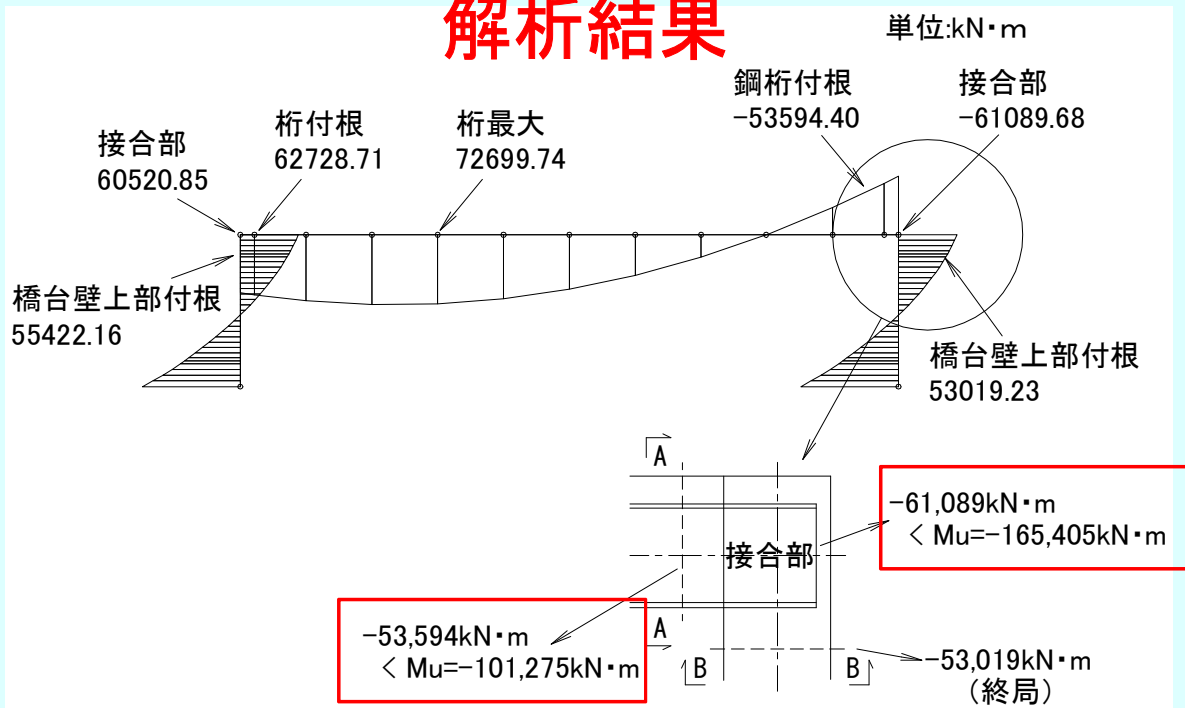


⇒ いずれの塑性  
ヒンジも降伏  
していない

設計水平震度と上部構造慣性力作用位置の水平変位  
部材の状態と応答値

	応答変位 (m)	水平震度 $K_h$	部材の状態	
1	0.07	0.66	A2上側塑性ヒンジ	降伏
2	0.09	0.84	A1上側塑性ヒンジ	降伏
3	0.16	1.23	A1下側塑性ヒンジ	降伏
4	0.16	1.23	A2下側塑性ヒンジ	降伏
5	0.19	1.25	A2上側塑性ヒンジ	終局

# 解析結果



門型ラーメン全体系としての終局時曲げモーメント分布図

門型ラーメン構造は、地震動の影響を最も受けやすい条件において、橋台壁上側の塑性ヒンジ(接合部橋台側)が最初に終局状態を迎える

39

1. 橋台ジョイントレス構造について
2. 研究の背景と目的
3. 昨年の発表内容
4. 斜橋の影響
5. 大規模地震の影響
6. まとめ

40

## 6. まとめ

門型ラーメン構造を対象として、斜橋の影響を検討した。その結果を以下にまとめる。

- 1) 斜角が小さくなると、鋼桁に発生するそりねじり応力度が大きくなりその影響は無視できないことが分かった
- 2) ただし、本研究で対象とした鋼-コンクリート接合部の鋼桁圧縮フランジの板厚を限界幅厚比以下として応力度に余裕を持たせた断面とする場合、鋼桁に発生するそりねじり応力の影響わずかであり無視できる程度であることが分かった

## 6. まとめ

- 3) 斜角が小さくなるにつれ、床版の鈍角側の引張応力度は大きくなり局部的に応力が集中していた
- 4) 斜角 $75^\circ$ の場合、床版配筋や部分的な補強鉄筋を追加することで対応できるが、斜角 $60^\circ$ の場合、道示Ⅱ9.2.6に記載されている最小限度を下回る中心間隔での鉄筋配置が必要な結果となった。
- 5) 1)~4)より、門型ラーメン構造では、床版鉄筋や補強鉄筋の追加で対応できると考えられる斜角 $75^\circ$ 程度以上で適用可能と考える。一方で、フランジ断面の経済性を追求した設計を行う場合や床版の張出しが大きい場合は、有限要素解析を用いて検討を行うなど別途検討が必要である。

## 6. まとめ

大規模地震動の影響を検討するため、地震の影響を受けやすい試設計ケースの単径間の門型ラーメン構造に対するプッシュオーバー解析を実施した。その結果を以下にまとめる。

- 6) プッシュオーバー解析結果より、地震の影響を受けやすいケースに対してもレベル2地震動に対して耐震性能2を十分満足する結果であった。
- 7) レベル2地震動以上の地震力が作用した場合、設計上、損傷を誘導したい橋台壁上側で終局状態となり、その際に鋼桁、接合部に生じる断面力より、それぞれの耐力が上回ることが確認できた。

43

## 6. まとめ

- 8) 6), 7)より、単径間の門型ラーメン構造についても、インテグラルアバット構造と同様、常時荷重の組合せケースに対して設計すれば、レベル2地震動に対して十分な耐震性を有する結果となり、レベル2地震動に対する照査は省略してよいと考えられる。

※連続桁や曲線橋等、本研究対象で取り扱わない範囲の構造は、適宜その影響を検討が必要である。

44

## 6. まとめ

今後、本年度検討した斜橋の影響と大規模地震時の影響、昨年度検討した鋼-コンクリート接合部の抵抗機構に関する研究および(国)土木研究所で検討された信頼性解析結果などを踏まえて、橋台部ジョイントレス構造の設計施工ガイドラインを発刊する予定である。

45



一般社団法人 日本橋梁建設協会  
Japan Bridge Association Inc.

46