

# 平成27年度 橋梁技術発表会

## 頭付きスタッドを用いた鋼-コンクリート接合部の 耐力評価に関する解析的研究

技術委員会 設計小委員会

[ 岑山友紀 / 楠田広和 ]



一般  
社団法人

日本橋梁建設協会

Japan Bridge Association Inc.

# 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. 設計に関する課題
4. 接合部の断面特性把握のための  
全体系平面骨組み解析
5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する  
実験供試体の有限要素解析
6. まとめ

本発表は、

(独)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。

# 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. 設計に関する課題

4. 接合部の断面特性把握のための

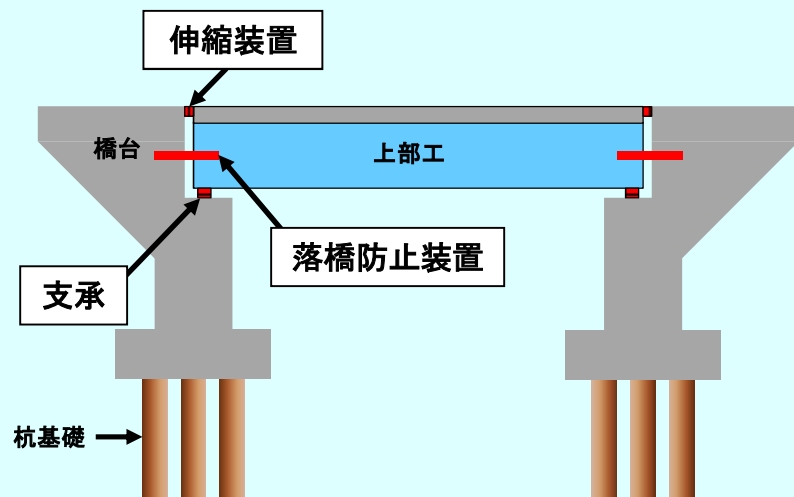
全体系平面骨組み解析

5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する

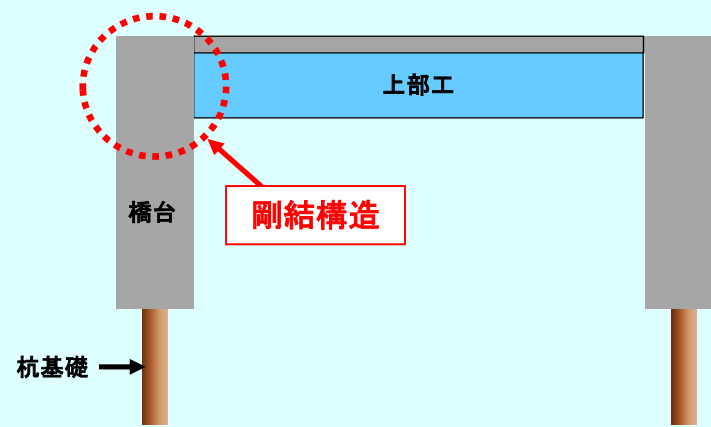
実験供試体の有限要素解析

6. まとめ

# 1. 橋台ジョイントレス構造



従来の単純桁橋



橋台ジョイントレス構造

- ・コストの低減
- ・維持管理の負荷低減
- ・高い耐震性



ハタボキ谷橋(2008年竣工)

# 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
温度変化による桁伸縮への対応	橋台壁及び基礎の剛性により対応	橋台杭基礎の変位により追随

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. 設計に関する課題

4. 接合部の断面特性把握のための

全体系平面骨組み解析

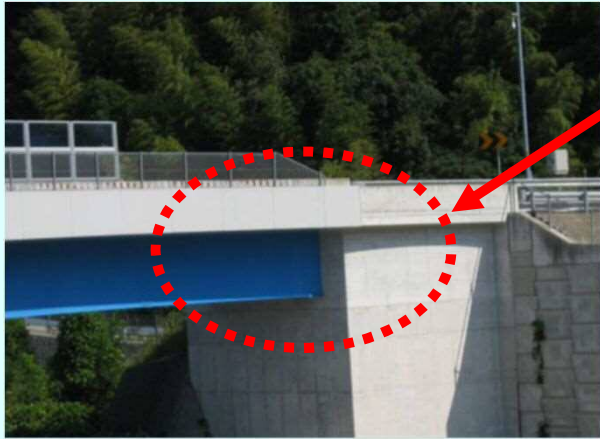
5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する

実験供試体の有限要素解析

6. まとめ

## 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・・・

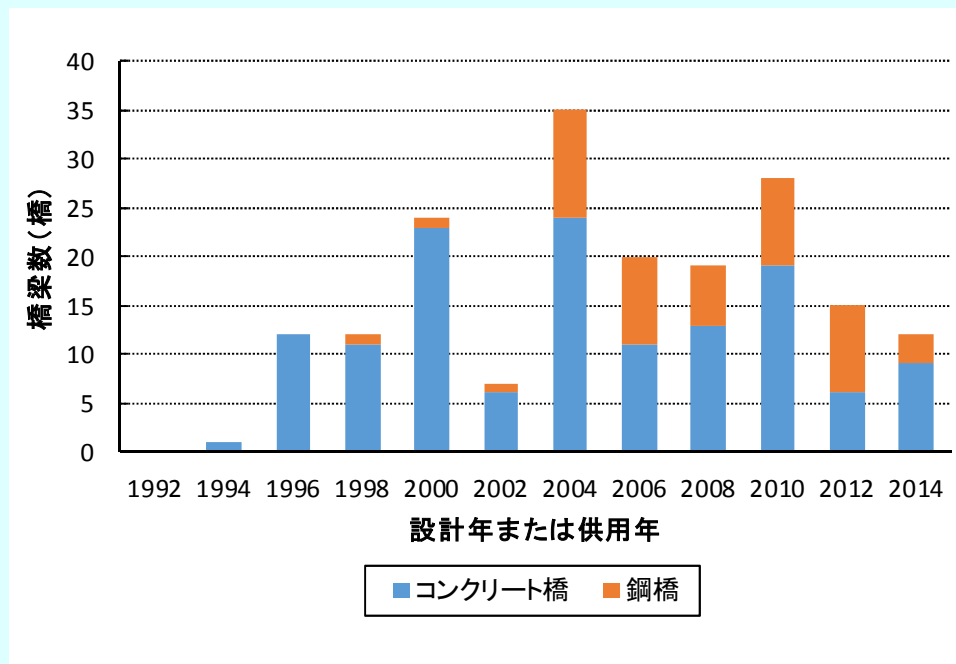
- ・設計法が未整備
- ・橋台背面舗装の損傷などの維持管理上の課題

⇒現在まで広く普及するに至っていない。

## 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**

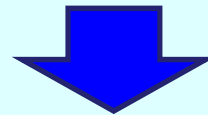


## 2. 研究の背景と目的

◇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

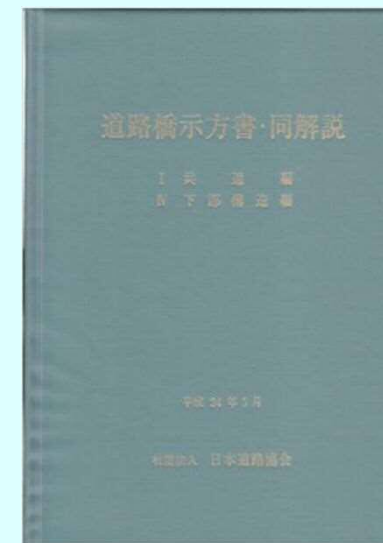


◇平成24年版道路橋示方書

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。

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. 設計に関する課題**
4. 接合部の断面特性把握のための  
全体系平面骨組み解析
5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する  
実験供試体の有限要素解析
6. まとめ

### 3. 設計に関する課題の抽出

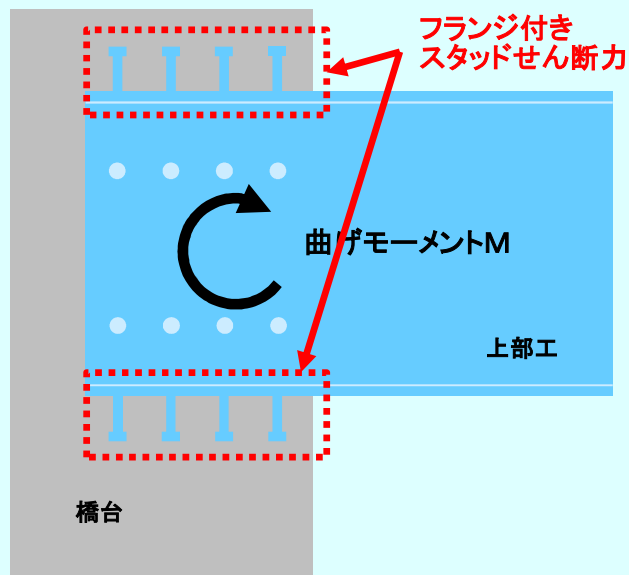
- 1) 鋼-コンクリート接合部の設計手法の確立
- 2) 鋼-コンクリート接合部の鋼桁深さが浅いことによる影響
- 3) 鋼桁埋込み部の支圧抵抗の有無
- 4) 鋼-コンクリート接合部スタッドの有効範囲の明確化
- 5) 鋼-コンクリート接合部に対する斜角の影響評価
- 6) 大地震時の挙動の評価
- 7) 鋼桁埋込み部フランジに対する局部座屈の設計
- 8) 鋼-コンクリート接合部の信頼性解析
- 9) 鋼-コンクリート接合部スタッドに対する疲労影響評価

…本発表では共同研究成果の一部として、上記に示す設計に関する課題1), 2), 3)について、その内容を述べる。

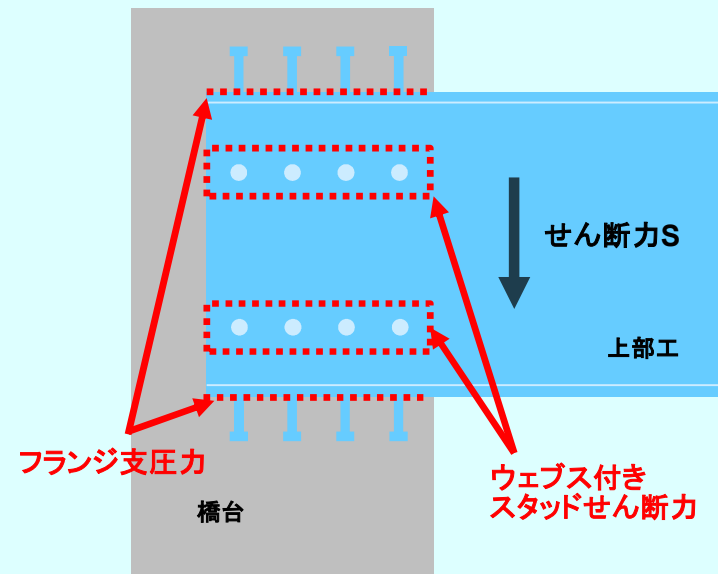
# 1) 鋼-コンクリート接合部の設計手法の確立

◇現状の接合部設計方法

【曲げモーメントの伝達】



【鉛直せん断力の伝達】



【課題点】

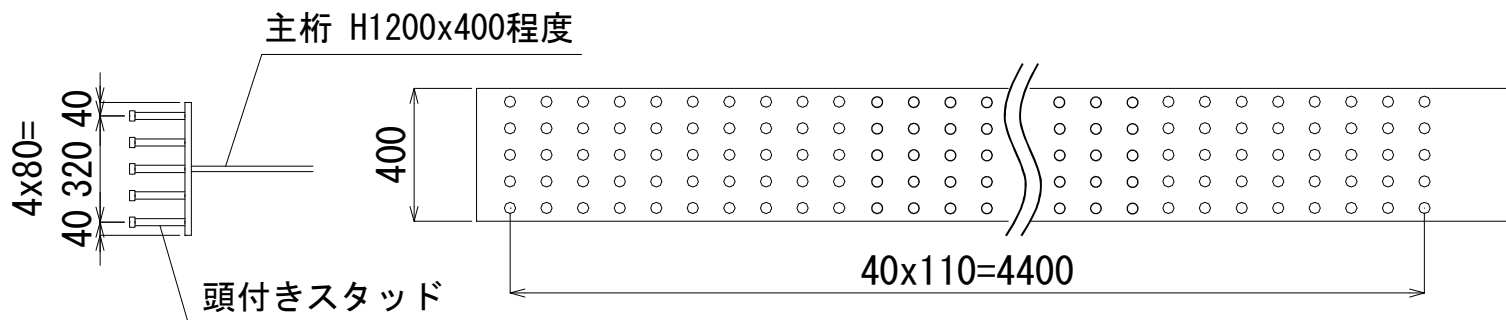
「作用力に対するスタッドや各種部材の抵抗比率が不明。」

「スタッドの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(道示Ⅱ 12.5.5)を用いており、橋台壁への鋼桁定着が困難となり、スタッド本数確保のため埋込部フランジを拡幅する等、対処に苦慮するケースも」

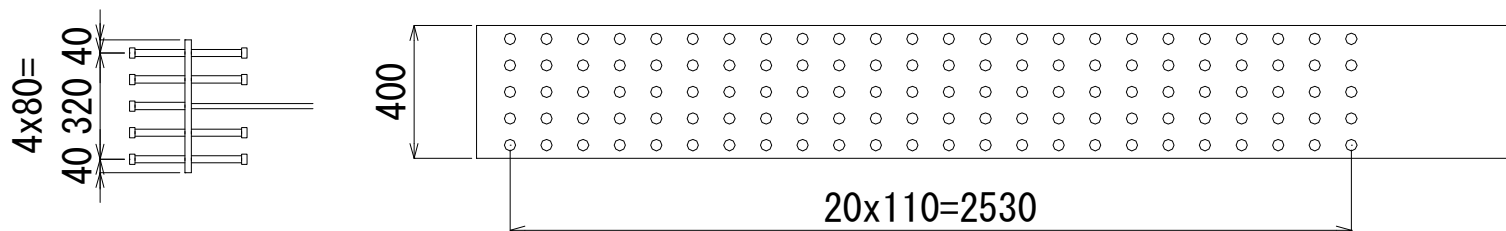
⇒ 合理的な接合部の設計手法の確立 を図っていく必要がある

# 1) 鋼-コンクリート接合部の設計手法の確立

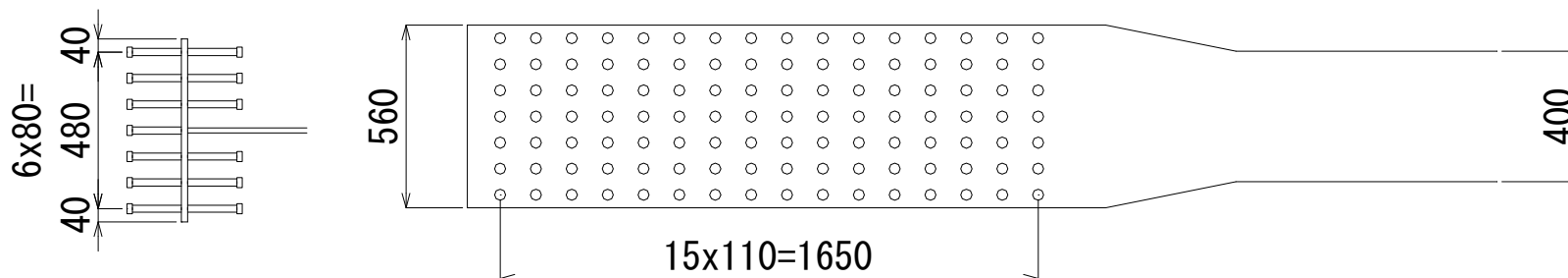
1) スタッドをフランジ上面に施工：5本/列



2) スタッドをフランジ上下面に施工：9本/列



3) フランジ幅を広げて、スタッドをフランジ上下面に施工：13本/列



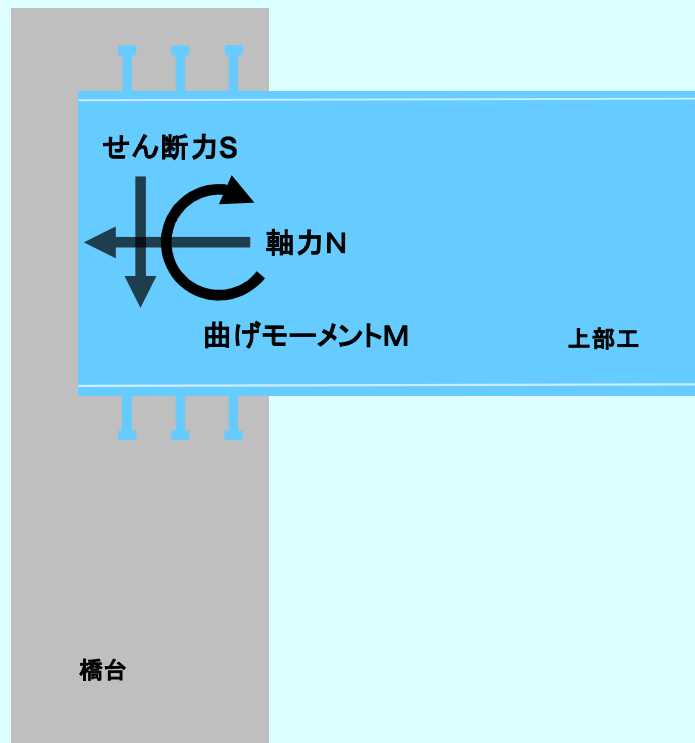
埋込部フランジを拡幅してスタッド打設せざるを得ない場合

# 1) 鋼-コンクリート接合部の設計手法の確立



埋込部フランジを拡幅した事例

## 2) 鋼-コンクリート接合部の鋼桁深さが浅いことによる影響



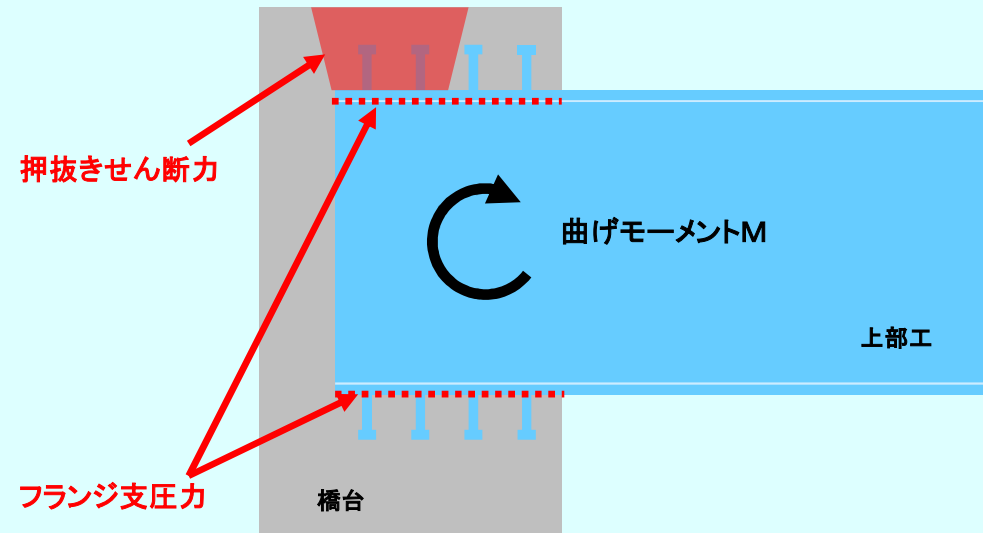
### 【課題点】

「スタッドを用いた鋼-コンクリート接合部の橋台壁厚が薄く鋼桁埋込み部が相対的に浅い場合のスタッド、支圧の抵抗比率への影響が不明」

必要となる橋台壁厚が薄いことから、鋼桁の埋込み深さが浅くなる場合でも接合部の挙動に影響がないかを検証



### 3) 鋼桁埋込み部の支圧抵抗の有無



安全性の照査として、曲げモーメントを「下フランジの下面の支圧力」や「上フランジ上面の押抜きせん断力」に換算して照査を行う事例がある

#### 【課題点】

「押抜きせん断及び下フランジ下面の支圧力の発生応力分布が不明確」

「実橋の設計事例としても上図のように、三角形分布としているケース、等分布荷重としているケースなど、設計者によりバラバラで統一されていない」

⇒ 支圧抵抗の有無について確認

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. 設計に関する課題

**4. 接合部の断面特性把握のための**

**全体系平面骨組み解析**

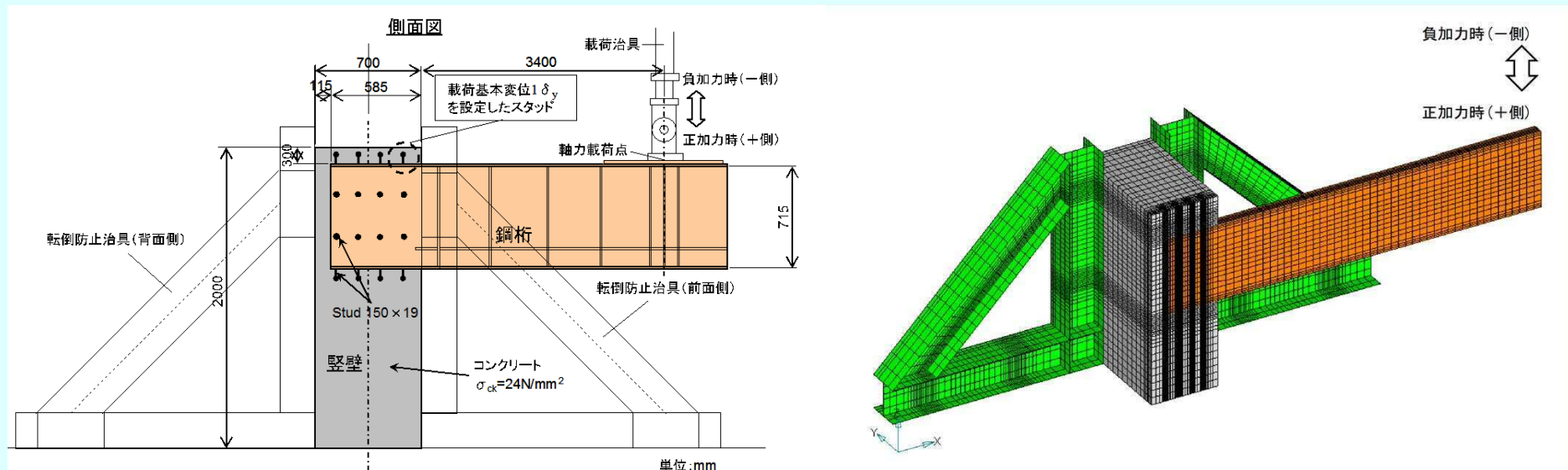
5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する

**実験供試体の有限要素解析**

6. まとめ

# 解析の目的(1)

◇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



＜実験供試体諸元の試算＞

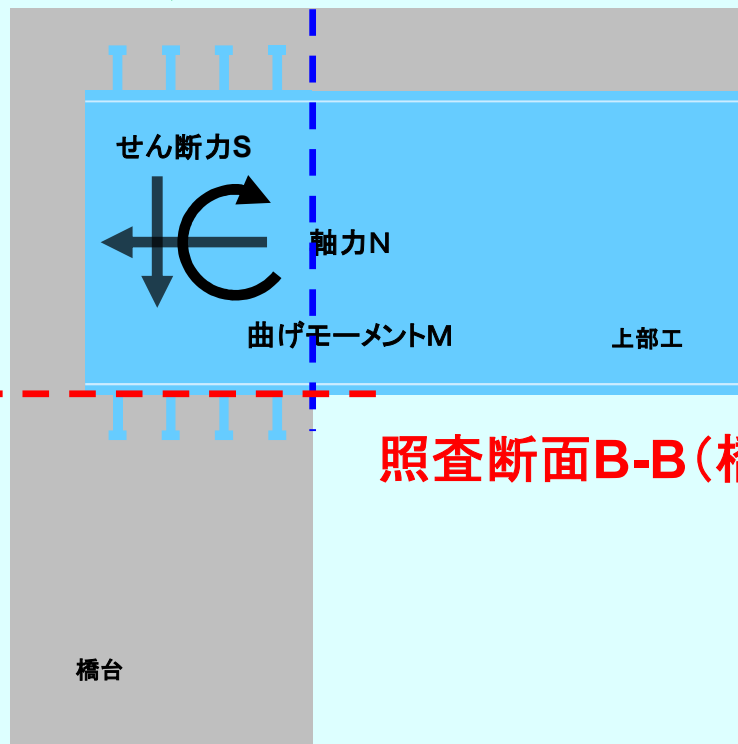
＜有限要素解析の諸元試算＞

## 解析の目的(2)

◇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どこが最初に塑性化するか検討。平面骨組み解析で試算した断面に対する終局耐力を算出して比較

照査断面C-C  
(接合部スタッド)

照査断面A-A(鋼桁側)



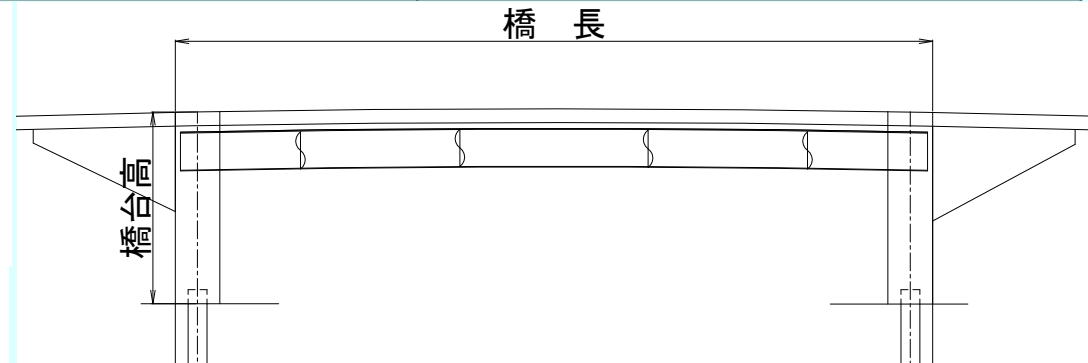
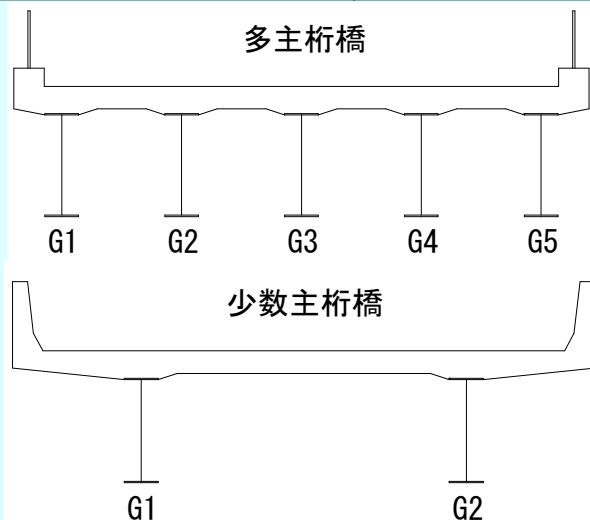
照査断面B-B(橋台壁側)

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？

# 解析ケース

橋長、橋台高、橋梁形式をパラメータとして、  
接合部の断面力が最大・最小となるケースを選定

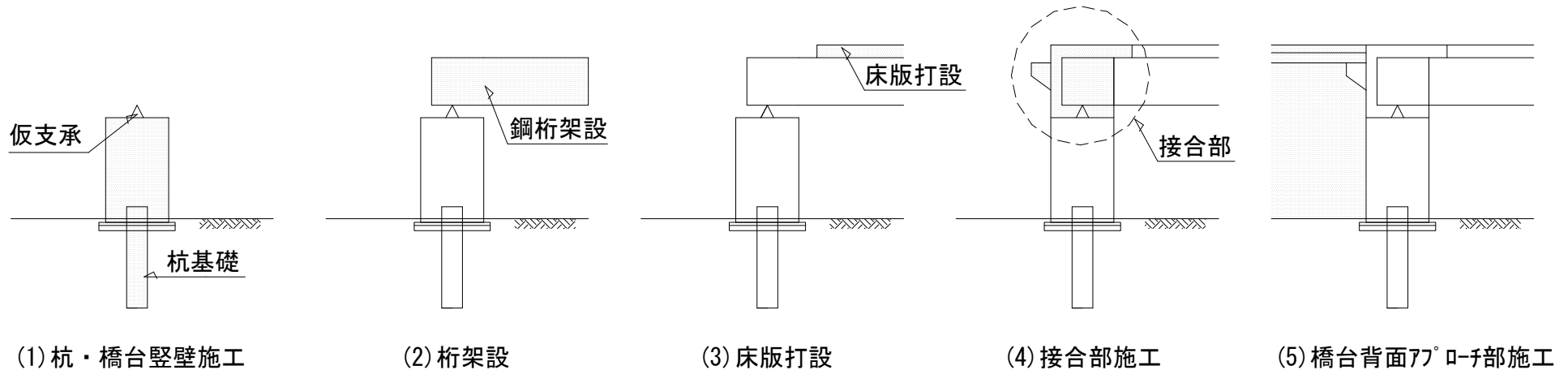
	インテグラルアバット構造	門型ラーメン構造
橋長	20m、40m	20m、60m
橋台高	5m、10m	5m、15m
地盤種別	Ⅱ種、Ⅲ種	Ⅰ種、Ⅲ種(液状化有)
橋梁形式	多主鈹桁、少数鈹桁 非合成桁、合成桁	多主鈹桁、少数鈹桁 非合成桁、合成桁



全32ケースを試算

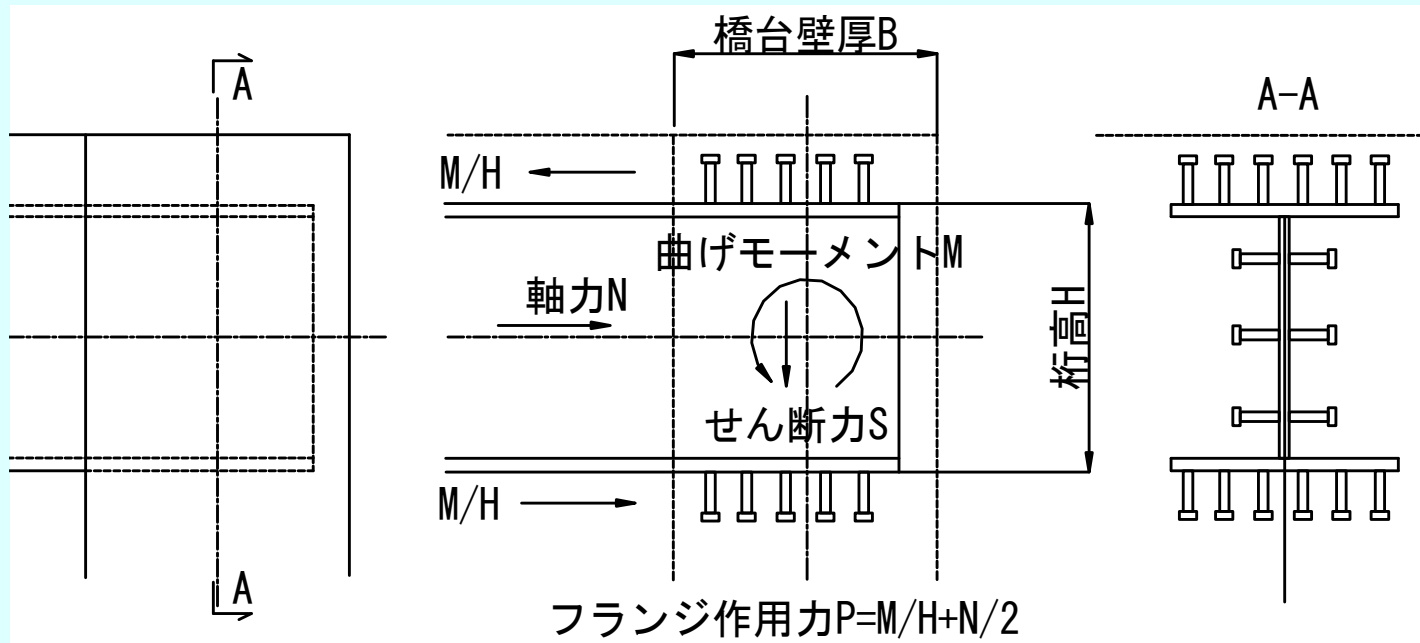
# 荷重条件

- ・道示及び「インテグラルアバット構造の設計施工ガイドライン(案)」に基づき荷重及び組合せを考慮
- ・鋼桁架設時は、仮支承で支持する架設系を考慮



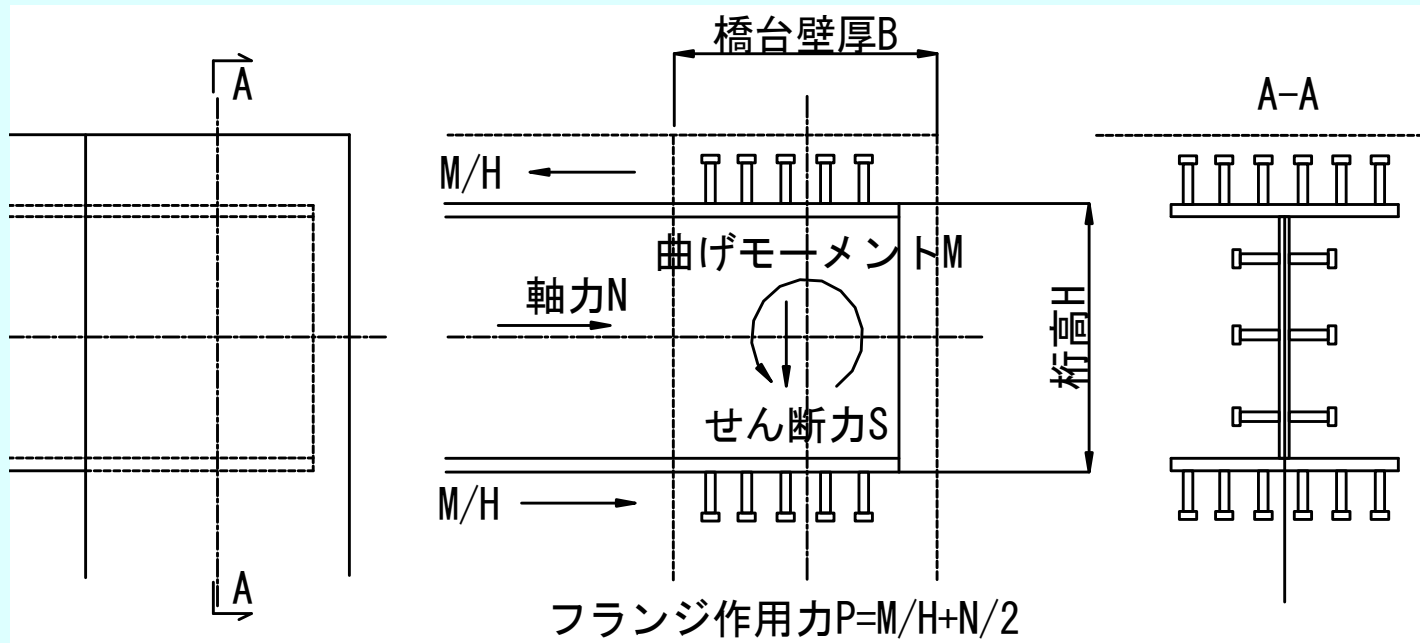
＜床板打設後に接合部を施工＞

# フランジ作用力の算出方法(1)



- ・接合部作用断面力(軸力N、曲げモーメントM、せん断力S)に対してフランジ作用力  $P = M/H + N/2$  を算出(鋼桁上下フランジ面の支圧力は無視)
- ・フランジ面に配置したスタッドのみで抵抗すると仮定し、必要スタッド本数を算出

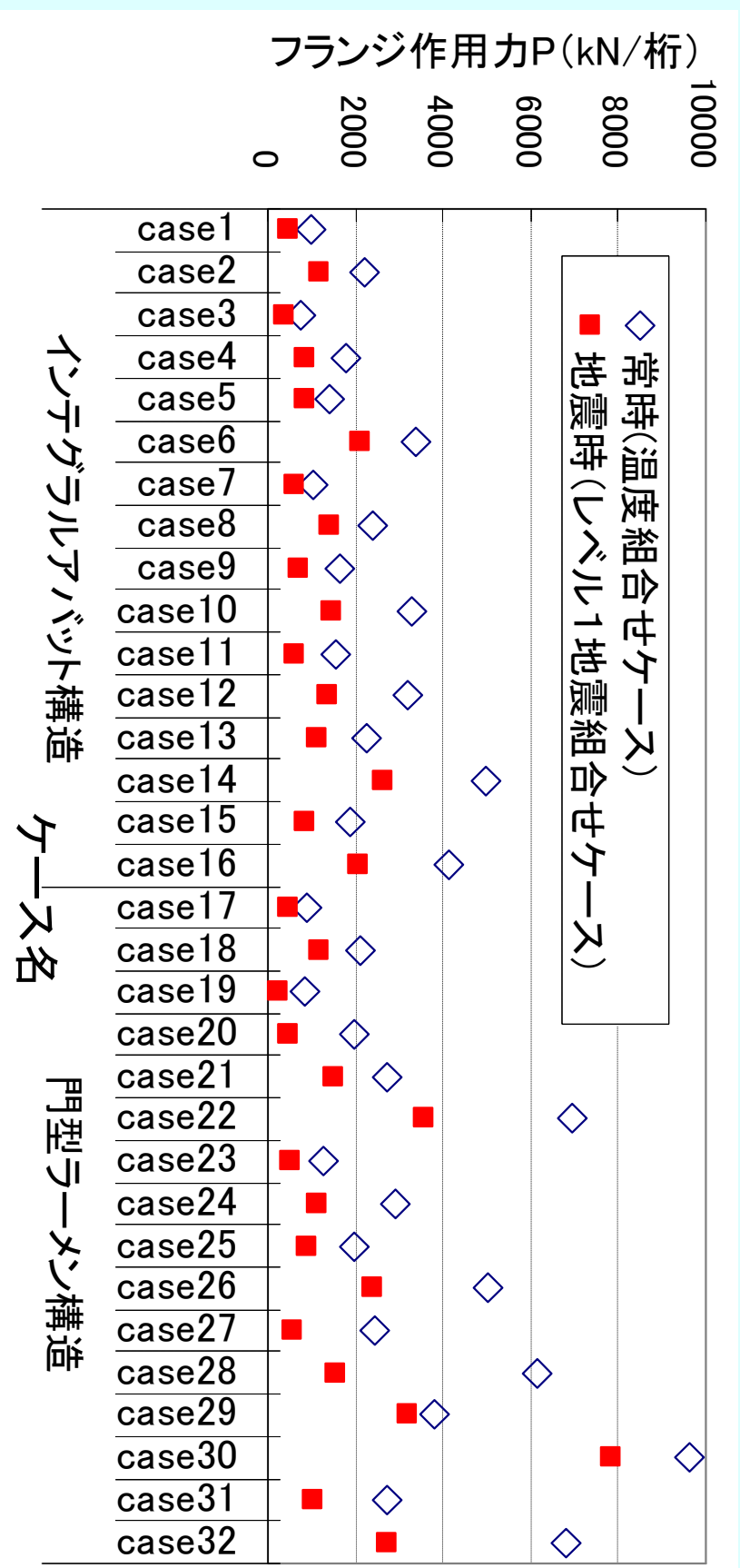
# フランジ作用力の算出方法(2)



- ・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



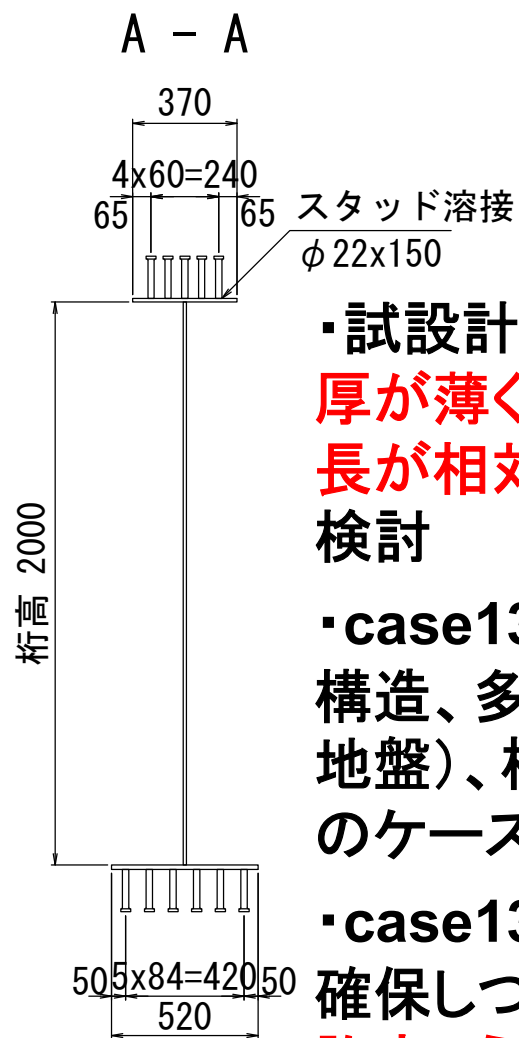
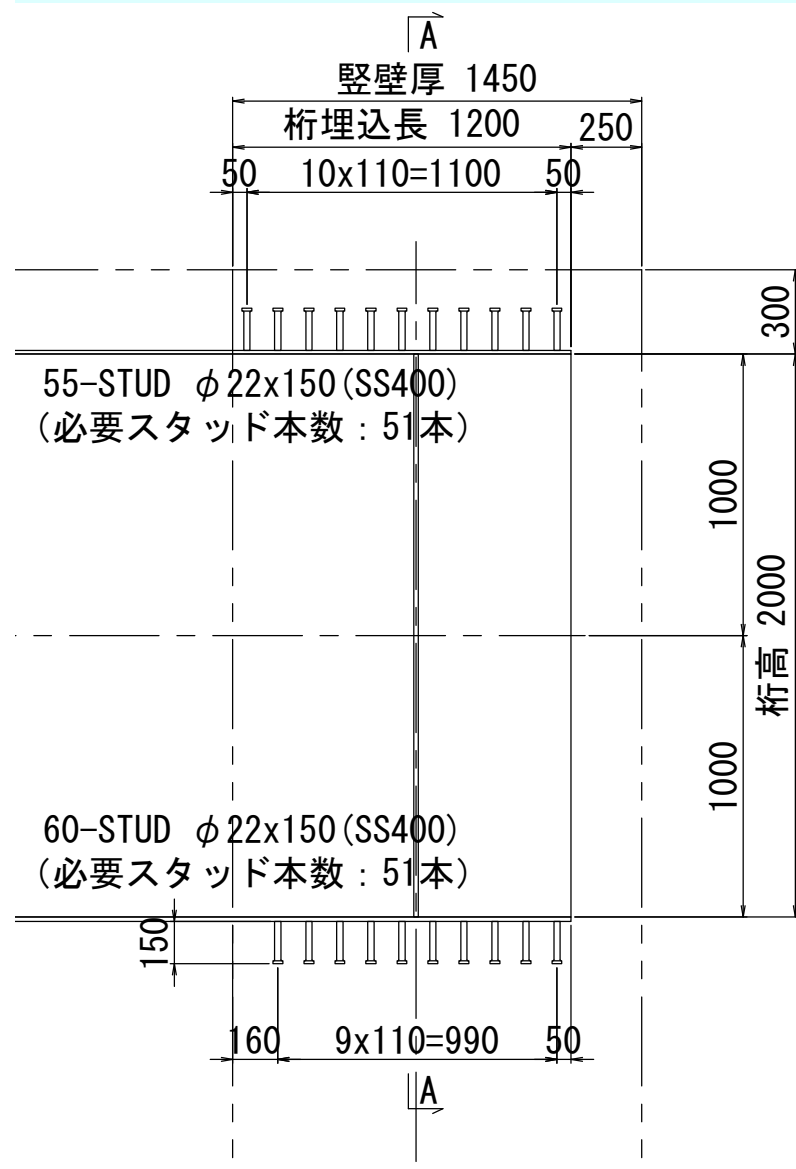
# 解析結果（フランジ作用力の算出）



## 接合部のフランジ作用力の比較

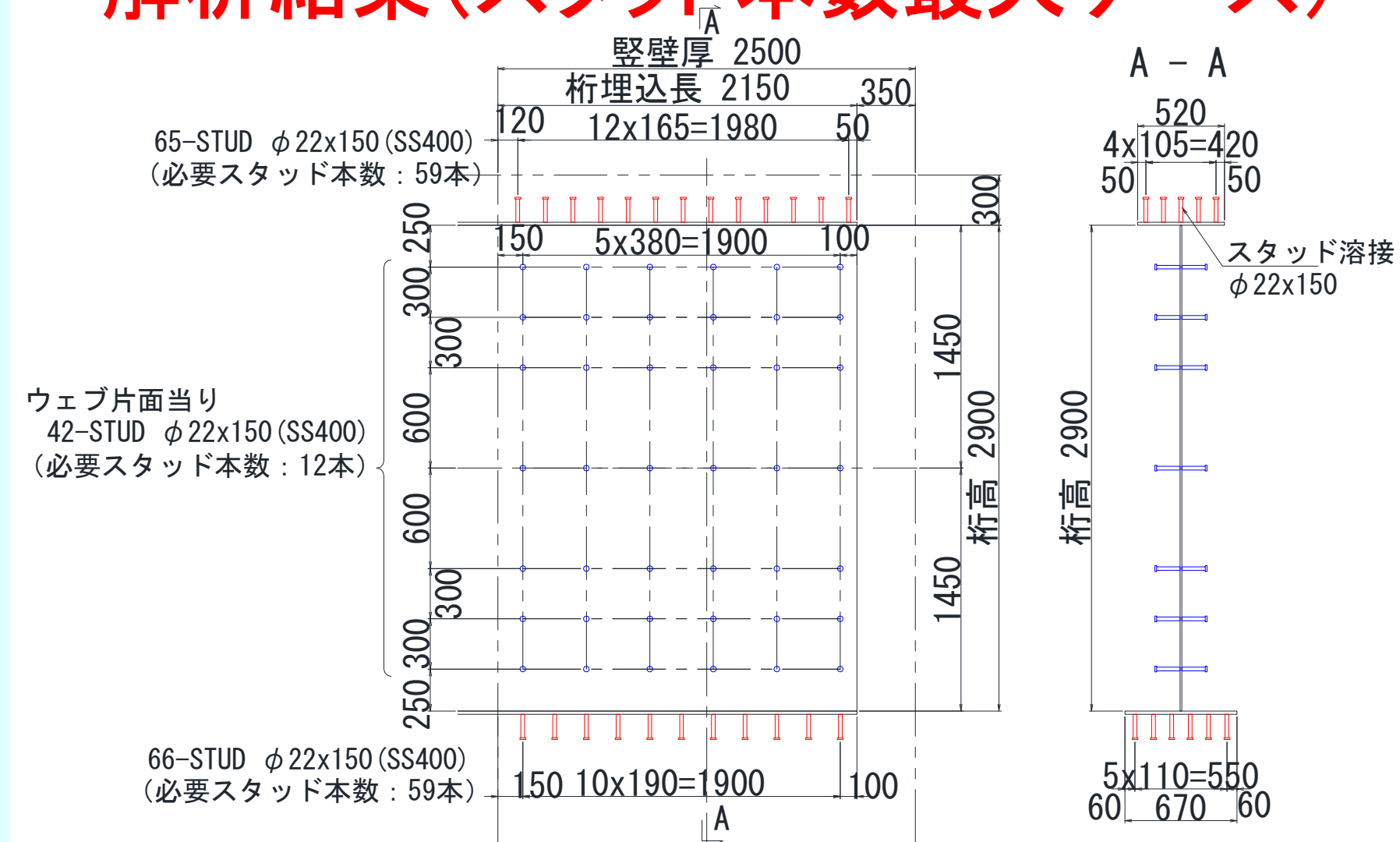
- ・全32ケースの試設計結果に対し、レベル1地震動の組合せケースで決定されず、常時荷重と温度荷重との組合せケースで鋼-コンクリート接合部断面が決定する結果

# 解析結果(埋込みが浅いケース)



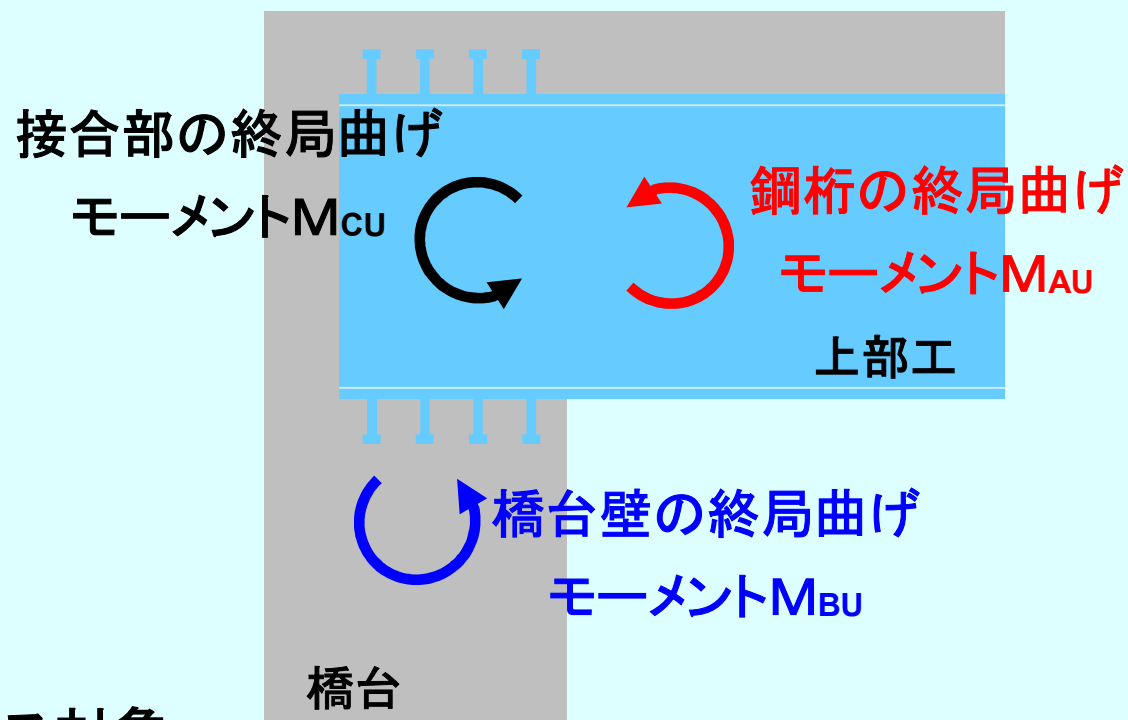
- ・試設計ケースのうち、橋台壁厚が薄く、接合部の鋼桁埋込み長が相対的に浅くなるケースを検討
- ・case13: インテグラルアバット構造、多主桁橋(合成桁、Ⅲ種地盤)、橋長40m、橋台高10mのケース
- ・case13の必要スタッド本数を確保しつつ、橋台壁厚を設計上許容しうる範囲で絞ったもの

# 解析結果(スタッド本数最大ケース)



- ・試算ケースのうち、必要スタッド本数が最大となったcase29:門型ラーメン構造で多主桁橋(合成桁)、Ⅲ種地盤、橋長60m、橋台高15m

# 解析結果（終局耐力の比較）



## ・試算ケース対象

自治体で採用機会の多い多主桁橋の合成桁・非合成桁を対象

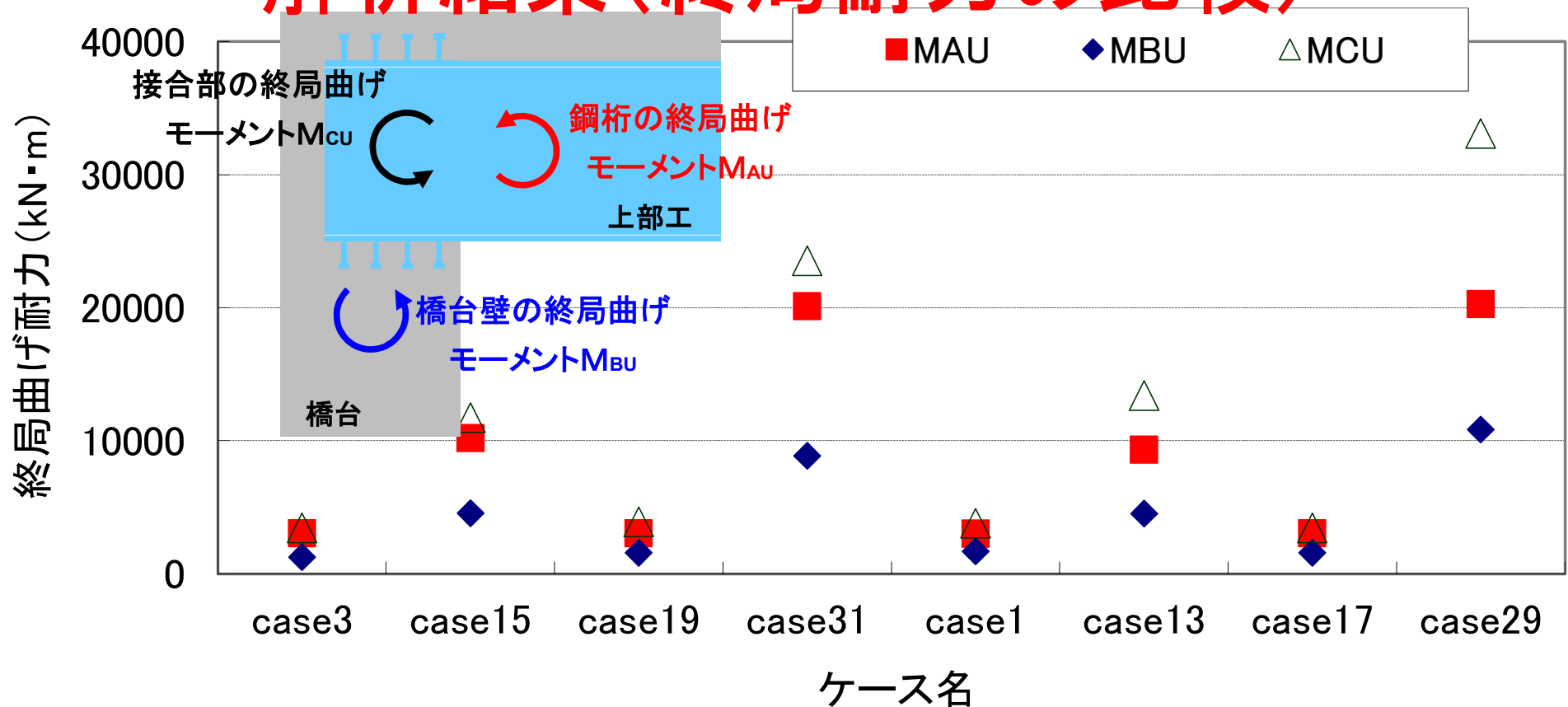
インテグラルアバット構造；case1、case3、case13、case15、

門型ラーメン構造；case17、case19、case29、case31 の計8ケース

## ・耐力に影響する材料強度や部材寸法のばらつきを考慮しない場合の

終局曲げ耐力を算出し、最も耐力が小さくなる部位を求めた

# 解析結果(終局耐力の比較)



## 鋼-コンクリート接合部の耐力比較結果

- ・全算定ケースに対し、橋台壁側RC断面 $M_{BU}$  < 鋼桁断面 $M_{AU}$  < 鋼-コンクリート接合部 $M_{CU}$ となり、供用への影響が小さい橋台壁側で先行して塑性化
- ・実設計で想定し得る材料強度や部材寸法のばらつきの影響を考慮した信頼性解析は次年度共同研究報告書で詳述予定

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. 設計に関する課題

4. 接合部の断面特性把握のための

全体系平面骨組み解析

5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する

実験供試体の有限要素解析

6. まとめ

# 解析の目的

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

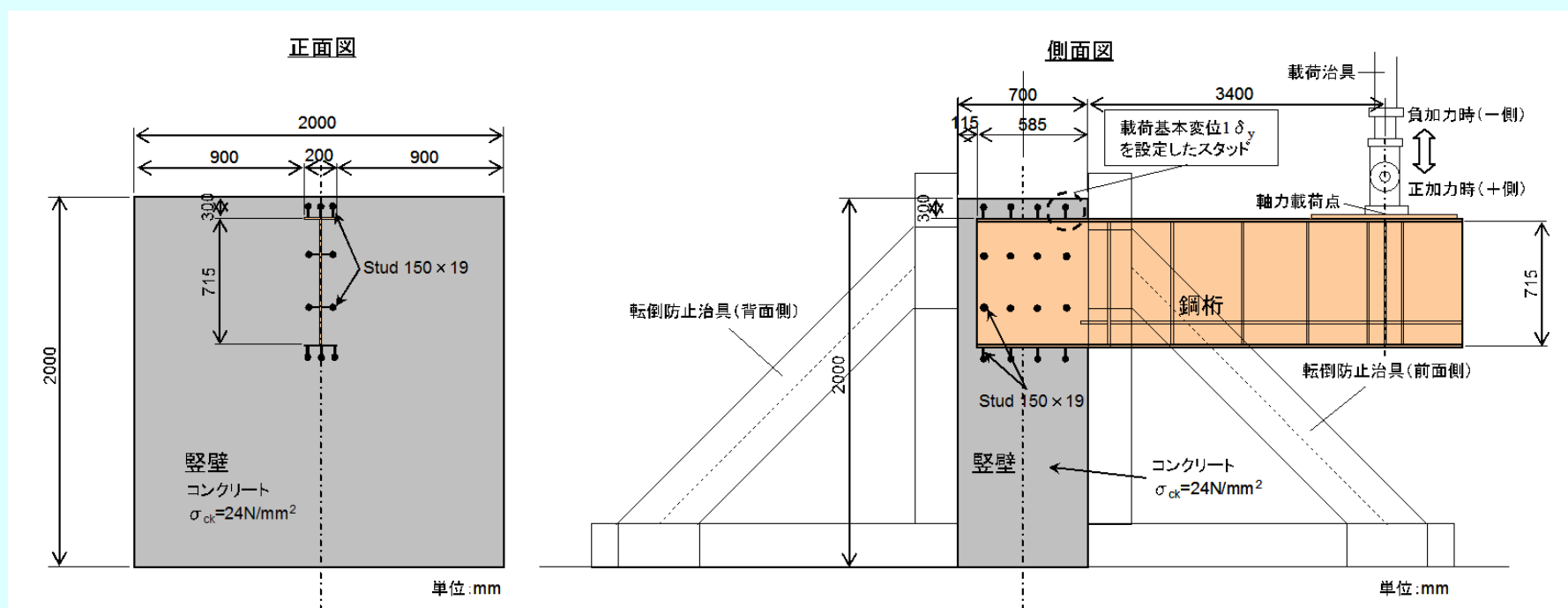
などの抵抗割合を明らかにする。



鋼-コンクリート接合部の正負交番実験における  
実験供試体を対象として有限要素解析を実施した。

# 正負交番実験の概要

鋼-コンクリート接合部のスタッド本数、上下フランジ下面の支圧の有無、埋込長などをパラメータとした12ケースの正負交番実験を、土研にて実施。



## 正負交番実験の概要(※)

※遠藤繁人、和田圭仙、七澤利明：頭付きスタッドを用いた鋼-コンクリート接合部の耐力評価にする実験的研究、土木学会第69回年次学術講演会、I-177、2014.9.



# 解析ケース

**Case1: フランジ下面の空隙なし**

埋込深さの深いケース(基本ケース)

**Case2: フランジ下面の空隙を考慮したケース**

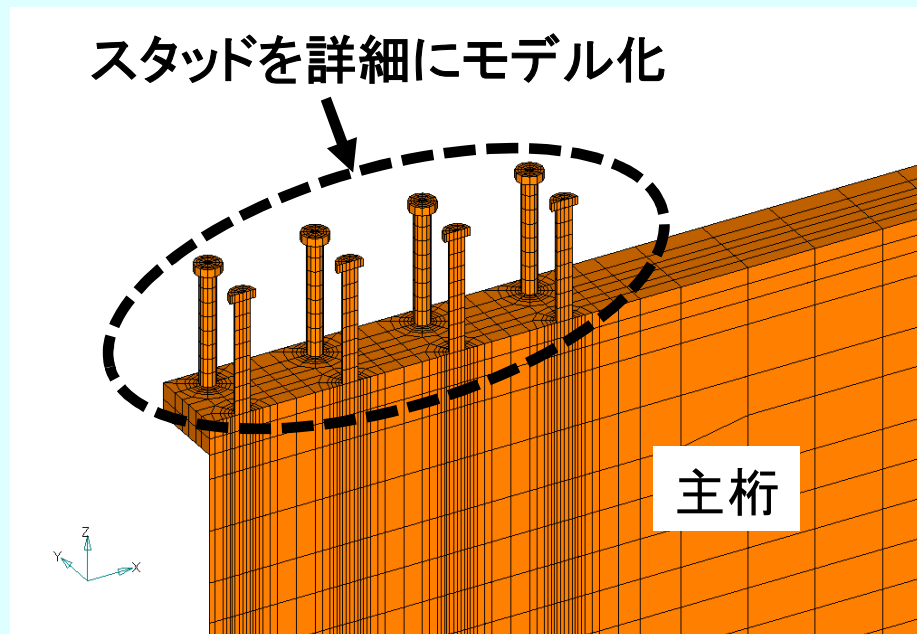
**Case3: 埋込深さの浅いケース**

## 解析ケース

	Case1	Case2	Case3
埋込長(mm)	585(深)	585(深)	<b>400(浅)</b>
橋台壁厚(mm)	700	700	<b>500</b>
フランジ下面 支圧抵抗	有	<b>無</b>	有

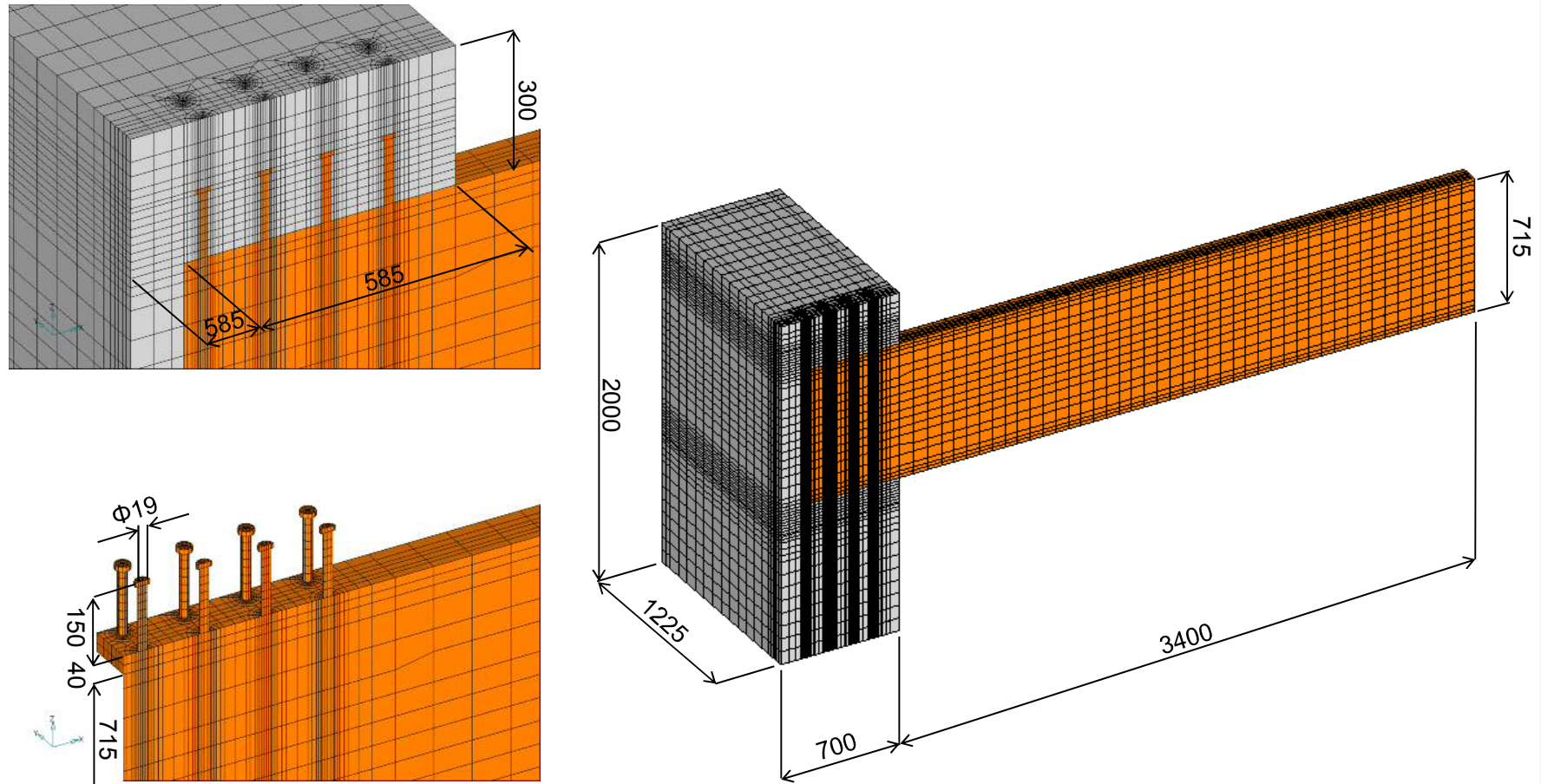
# 解析モデル①

- ・実橋の約1/3の縮小モデル(実験と同様)
- ・構造の対称性を考慮して1/2モデル
- ・スタッドと支圧の抵抗機構を明らかにするため、  
フランジ付きスタッドはソリッド要素を用いてモデル化



- ・解析には,  
**ABAQUS V.6.13-1**  
を使用

# 解析モデル②



解析モデル概要図 (Case1,2)

# 使用要素

フランジ付きスタッド  
:ソリッド要素

鋼桁上下フランジ  
:ソリッド要素

コンクリート  
:ソリッド要素

鋼桁腹板・補剛材  
:シェル要素

鉄筋  
:シェル要素

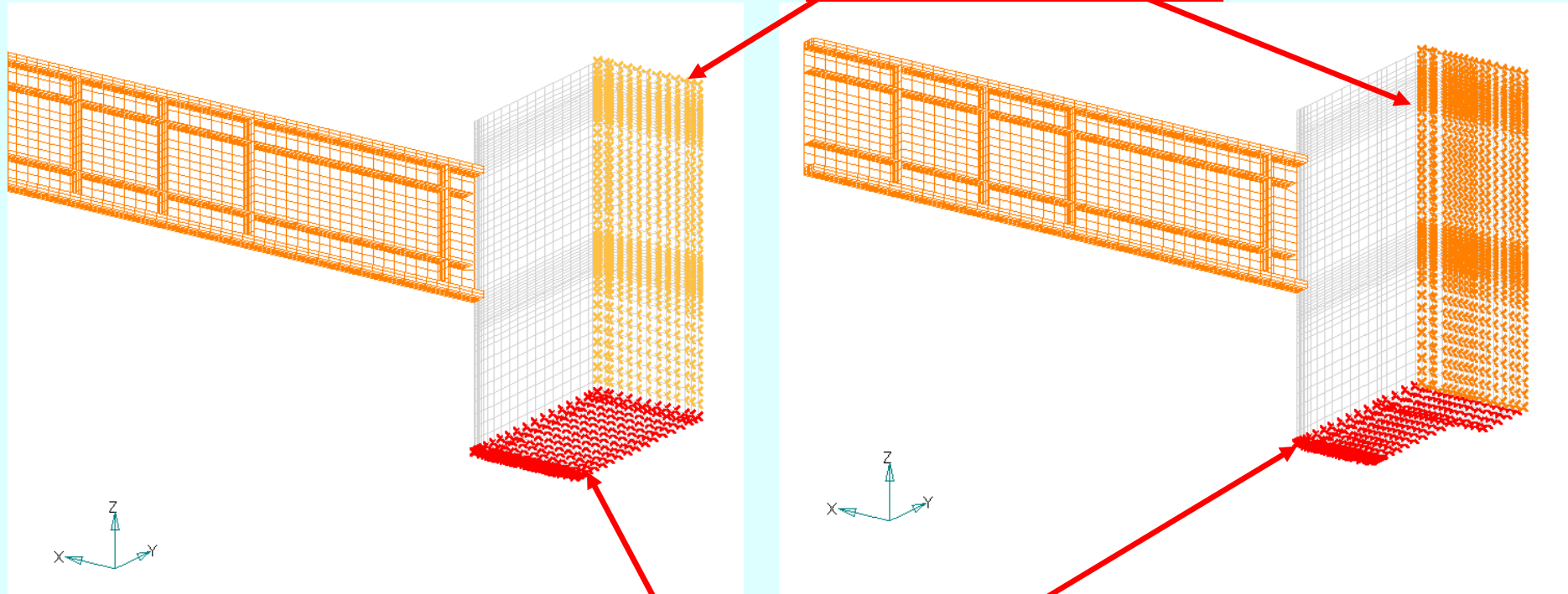
ウェブ付きスタッド  
:ばね要素

鋼桁

コンクリート

# 境界条件

橋台壁側部  
Y方向変位固定

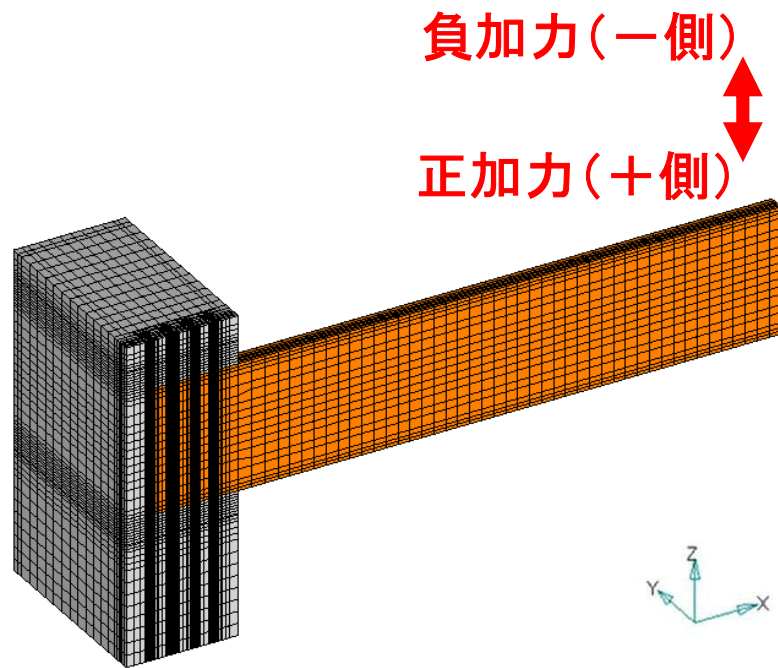


Case1,2

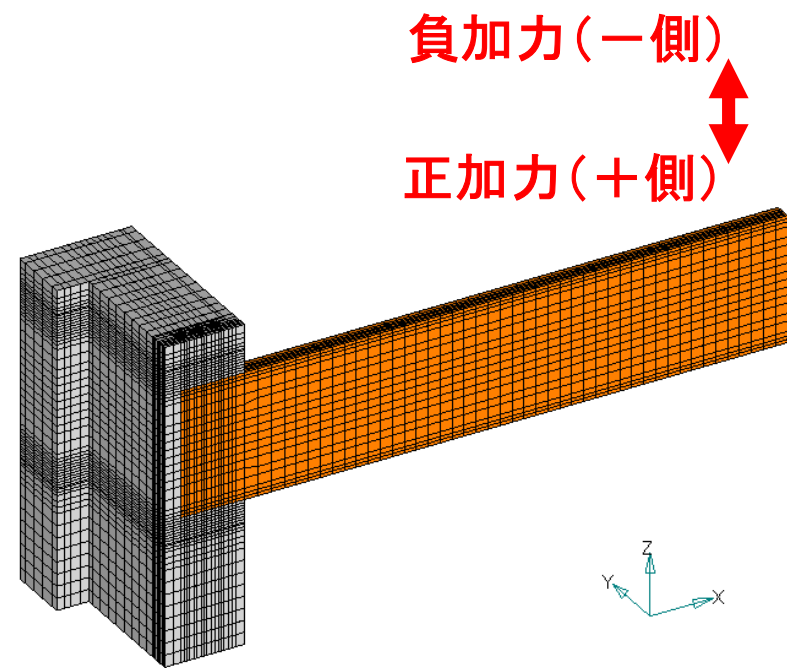
Case3

橋台壁基部  
X方向, Y方向, Z方向変位固定

# 荷重条件①



Case1,2

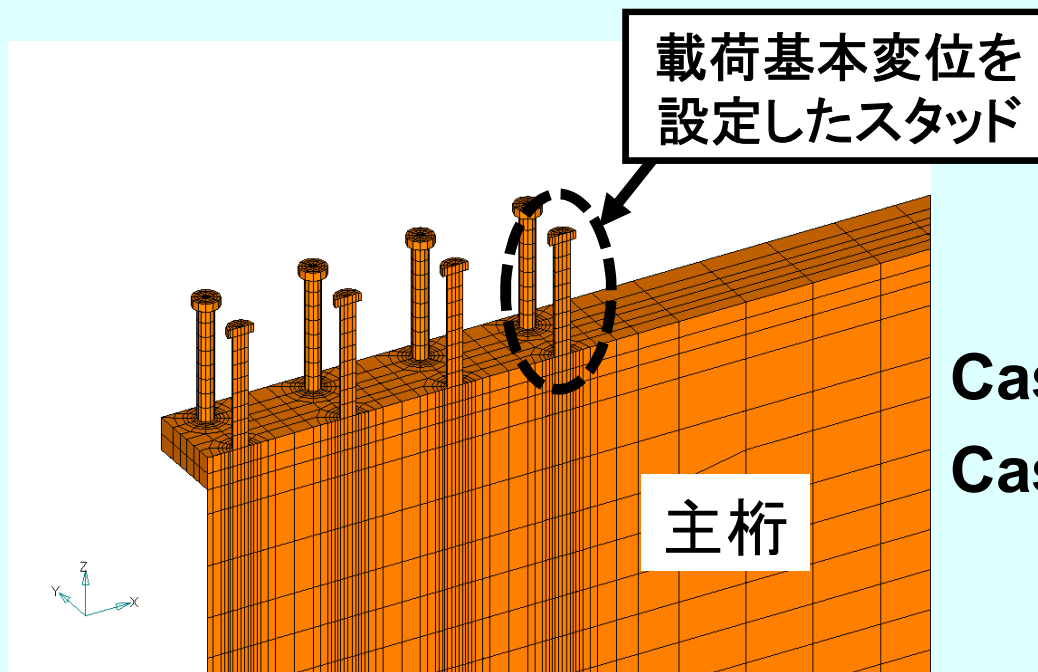


Case3

- ・鋼桁先端部に鉛直方向(Z方向)の強制変位を与えた。
- ・ $+1\delta y$ ,  $-1\delta y$ ,  $+2\delta y$ ,  $-2\delta y$ として正負交番载荷を行った。

## 荷重条件②

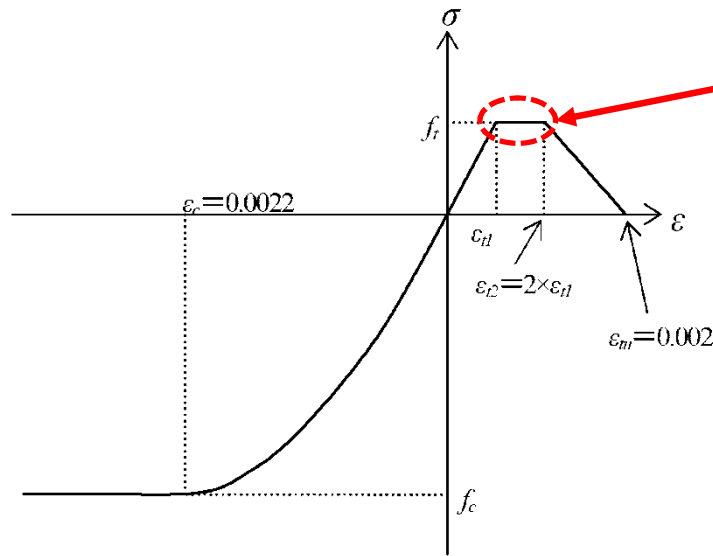
- ・ 載荷基本変位 $1\delta y$ は、  
最初に降伏すると想定されるスタッドがせん断降伏力  
に達したときの載荷点位置の鉛直変位から設定。



Case1,2:  $1\delta y = 7.1\text{mm}$

Case3:  $1\delta y = 4.6\text{mm}$

# 材料条件(コンクリート)



解析を安定させるため、応力は $f_t$ のままひずみのみ増加する部分を設けた

- Eurocode2に示された応力-ひずみ関係を使用
- 引張側は、引張強度まで線形とし、引張強度到達後は、ひび割れ発生を考慮した。

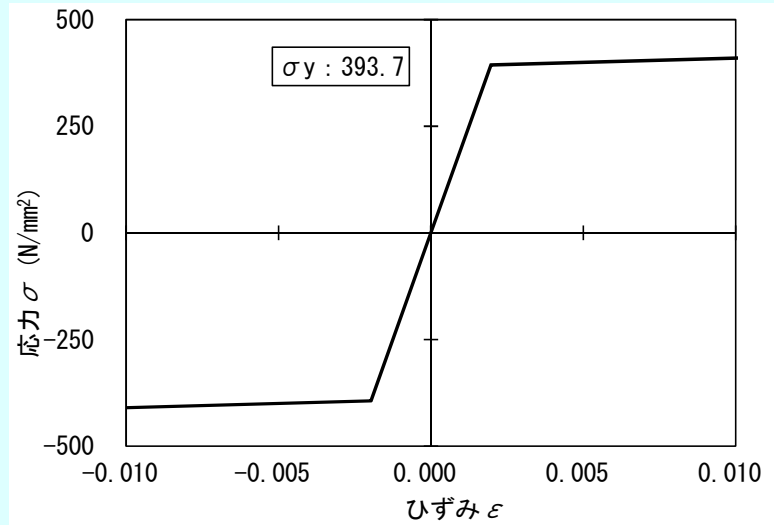
コンクリート構成則

## 材料定数

	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
Case1	24210	0.2	31.9	2.31	材齢15日
Case2	26872	0.2	34.3	2.43	材齢15日
Case3	25846	0.2	35.1	2.47	材齢21日



# 材料条件(鋼)



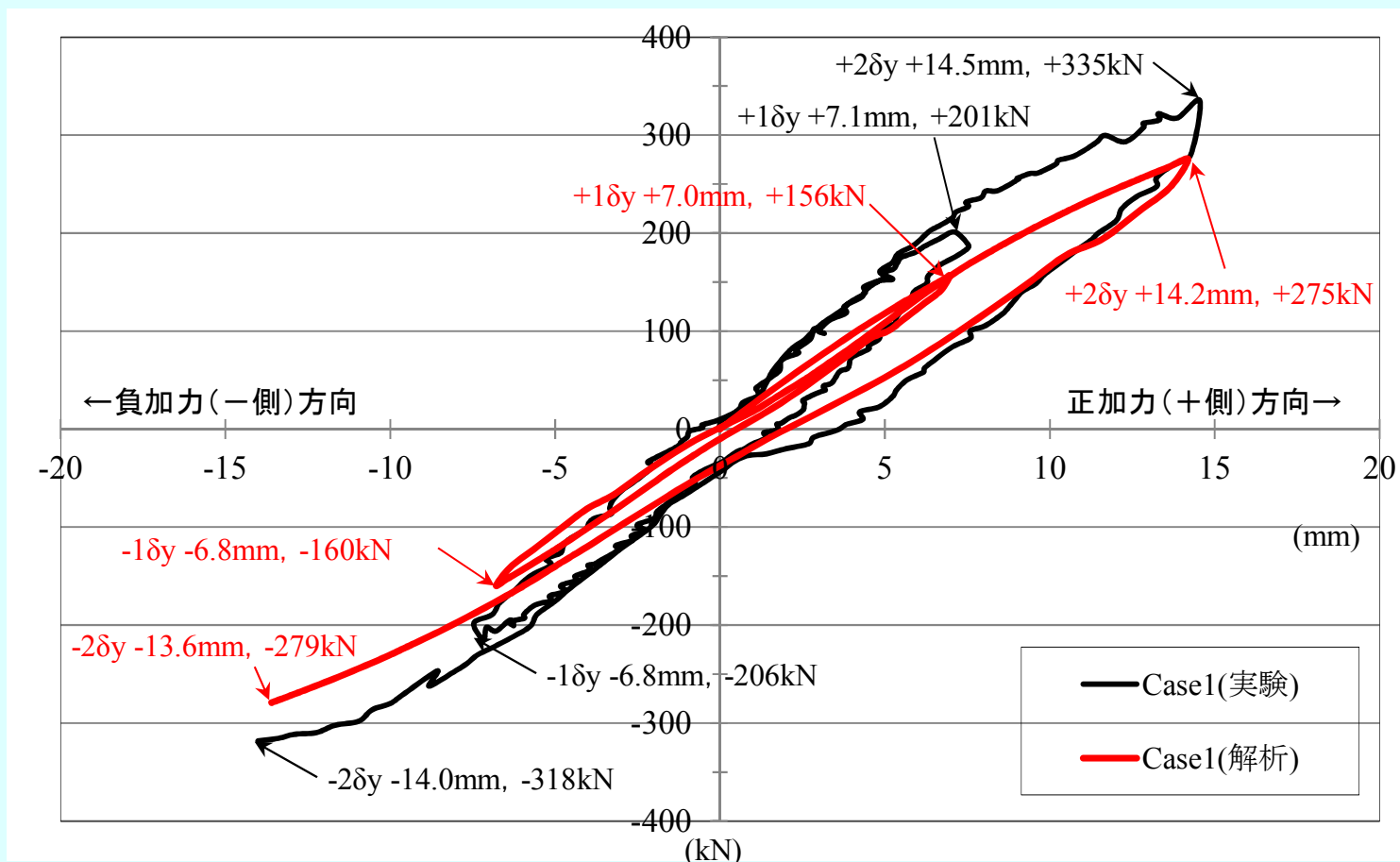
- ・全てバイリニアでモデル化
- ・材料定数は, 実験で用いた材料のミルシートにより設定

## スタッド構成則

## 材料定数

	ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	引張降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	備考
鋼材(SM490)	200000	0.3	356	フランジ
鋼材(SM400)	200000	0.3	299	フランジ以外
鉄筋(SD345)	199410	0.3	395	径:D22
鉄筋(SD345)	191110	0.3	379	径:D25
スタッド	200000	0.3	394	

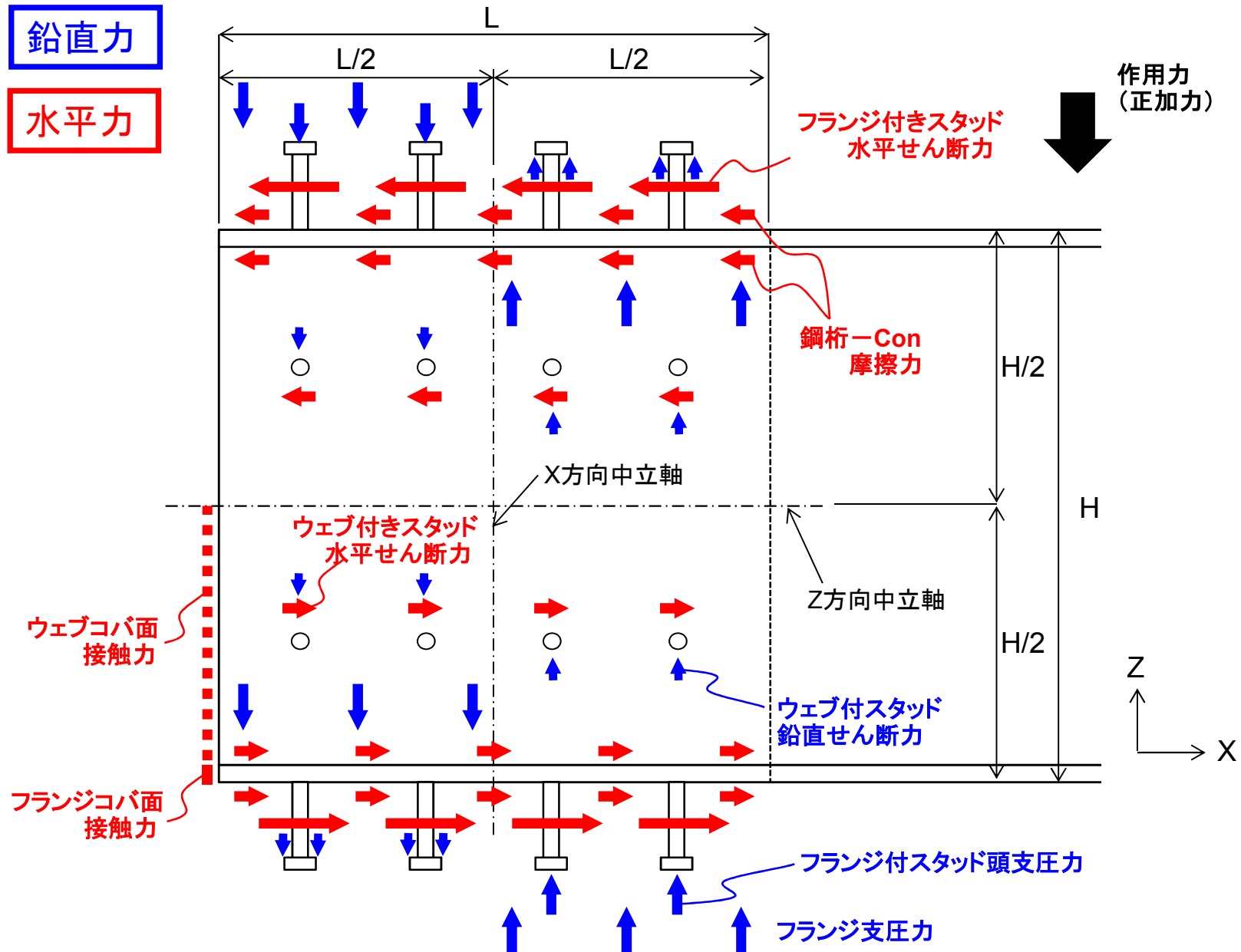
# 解析結果(荷重－変位関係)



載荷荷重－鉛直変位履歴曲線(Case1)

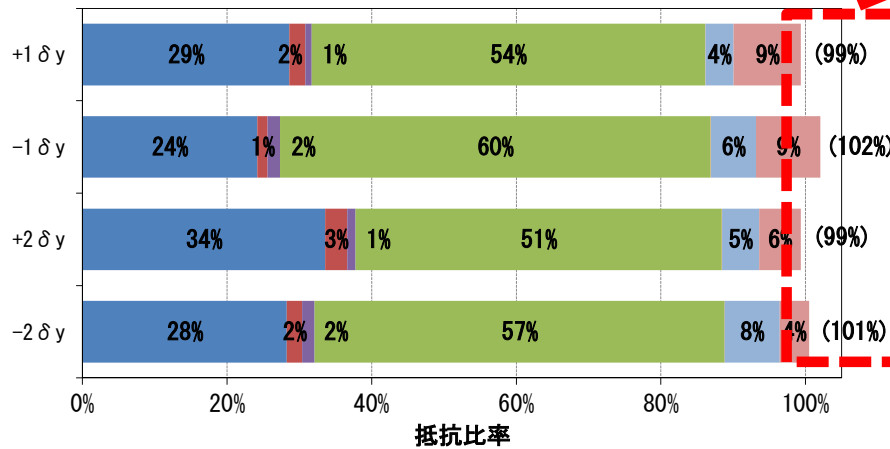
- ・初期勾配は概ね一致する結果であった。
- ・実験と同様に正加力・負加力で概ね対称な挙動を示していた。

# 接合部抵抗力(正加力)

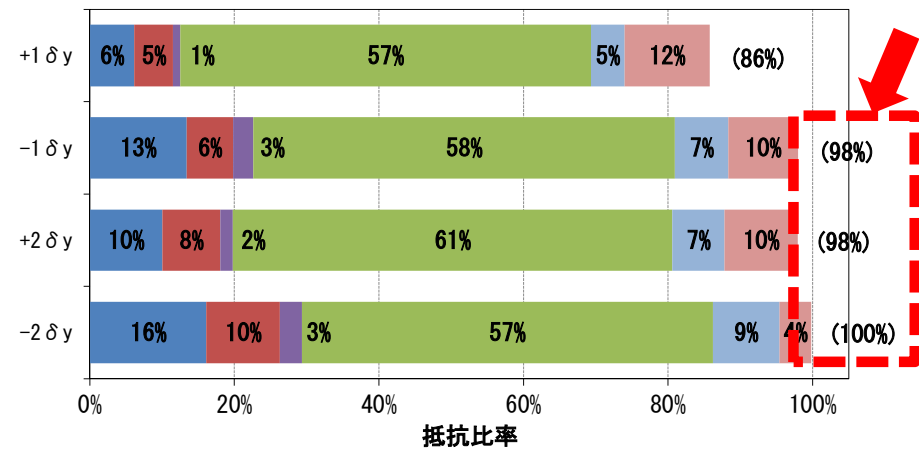


# 解析結果(接合部抵抗比率)

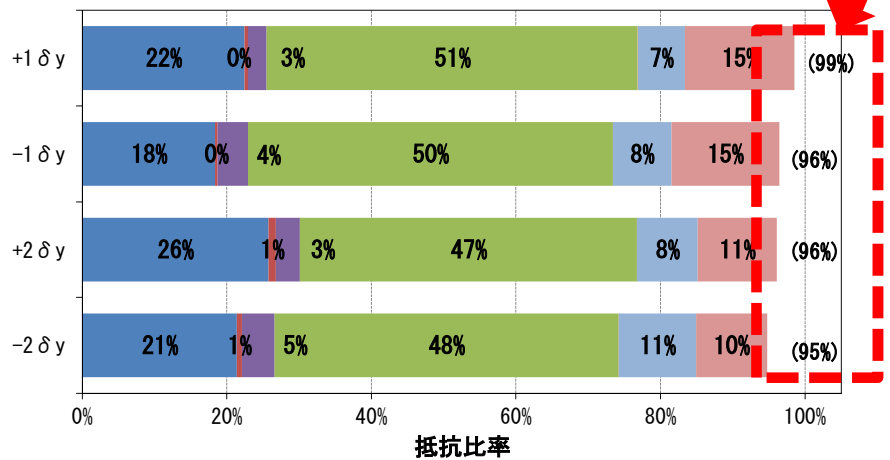
Case1(埋込長:深, フランジ下面支圧力:有)



Case2(埋込長:深, フランジ下面支圧力:無)



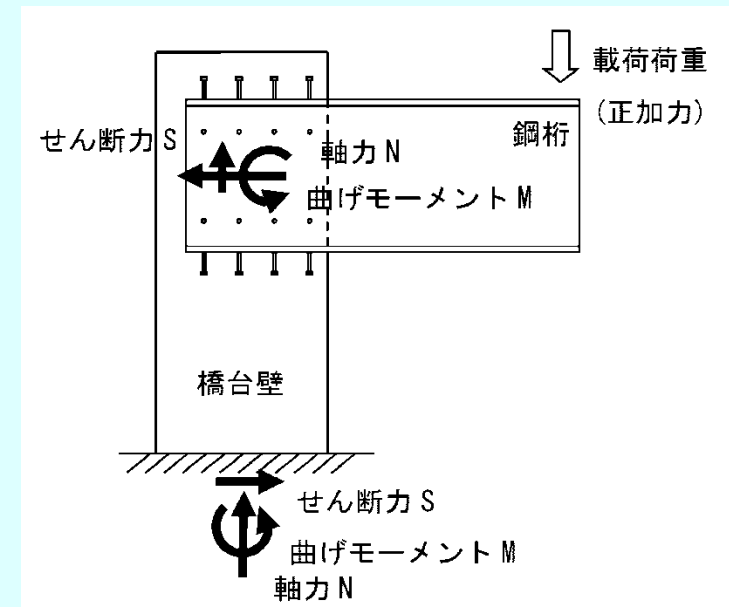
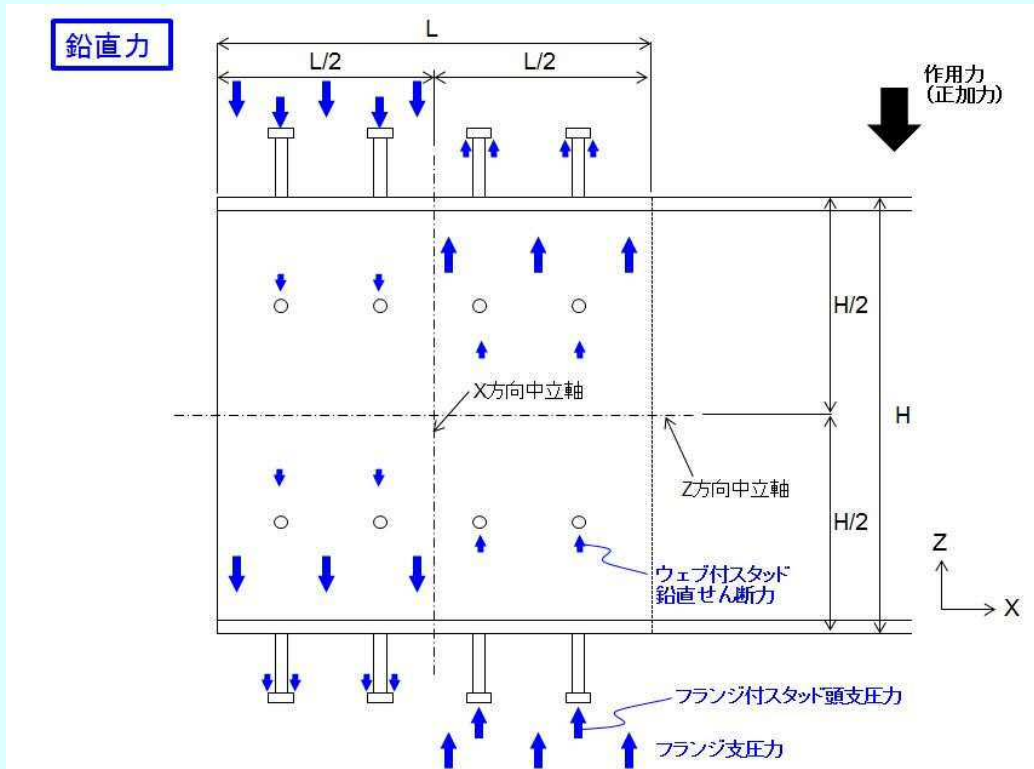
Case3(埋込長:浅, フランジ下面支圧力:有)



- P1(フランジ支圧力)
- P2(フランジスタッド頭支圧力)
- P3(ウェブスタッド鉛直力)
- Q1(フランジスタッド水平せん断力)
- Q2(鋼桁-Con摩擦力)
- Q3(ウェブスタッド水平せん断力)
- Q4(ウェブコバ面接触力)
- Q5(フランジコバ面接触力)

Case2,+1δyを除いて、  
抵抗曲げモーメントの合計は、  
作用曲げモーメントの95~  
102%と良く一致

# 鉛直抵抗力 (Case2、+1 $\delta y$ )



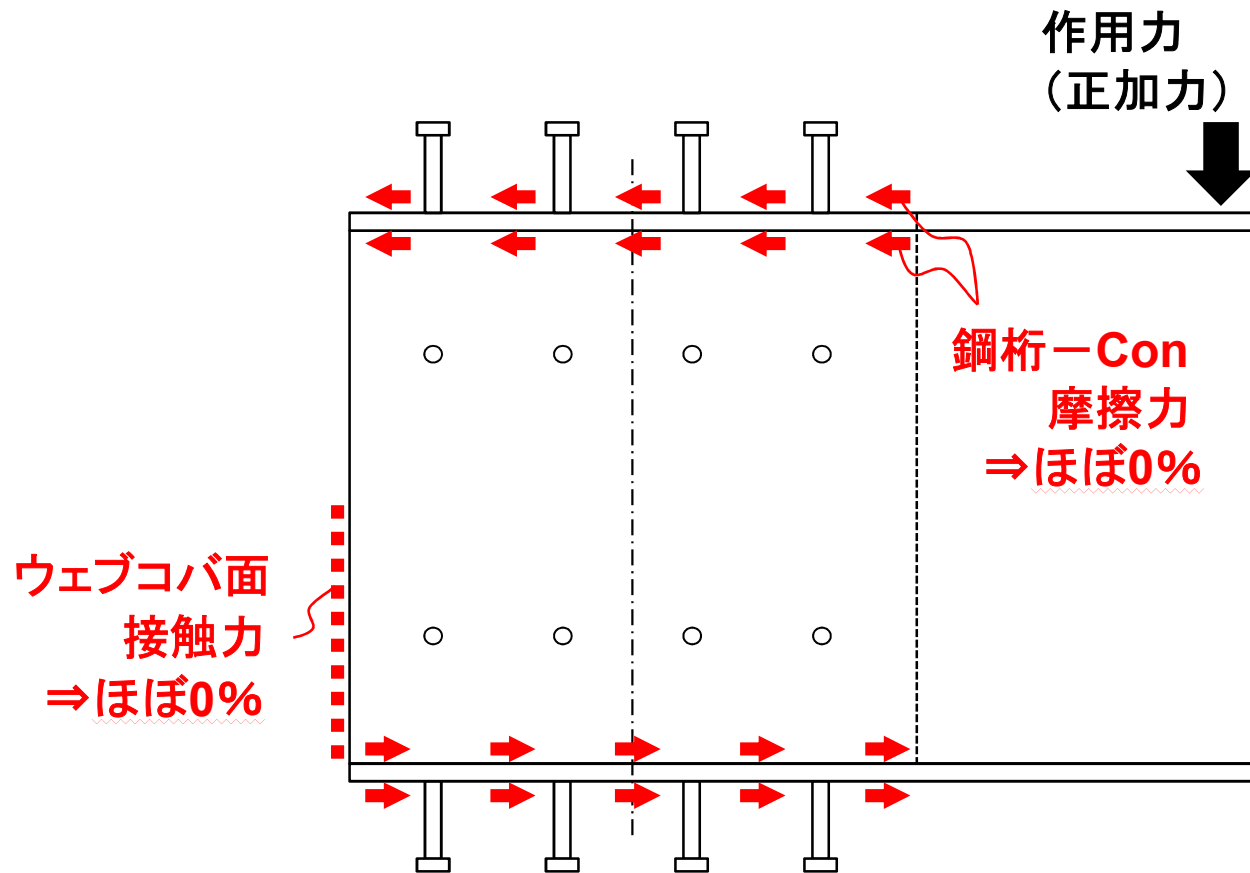
接合部の抵抗メカニズム概要図

載荷荷重: 151.9kN  $\neq$  鉛直力の合計: 107.9kN

⇒ フランジ下面に空隙を設けることにより

差違が生じたと考える。

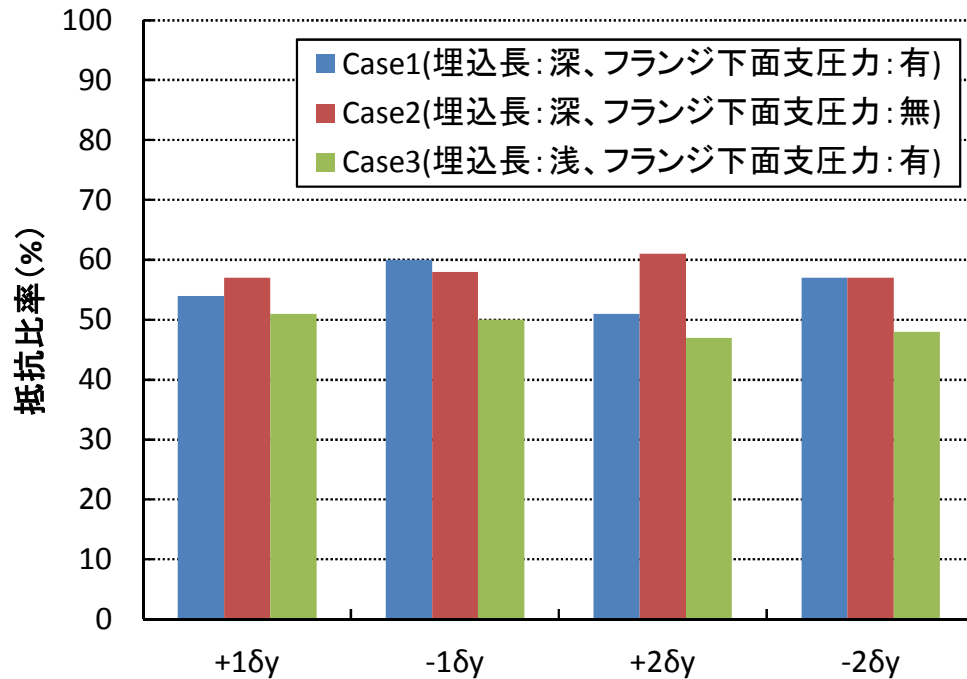
# 解析結果(接合部抵抗比率)



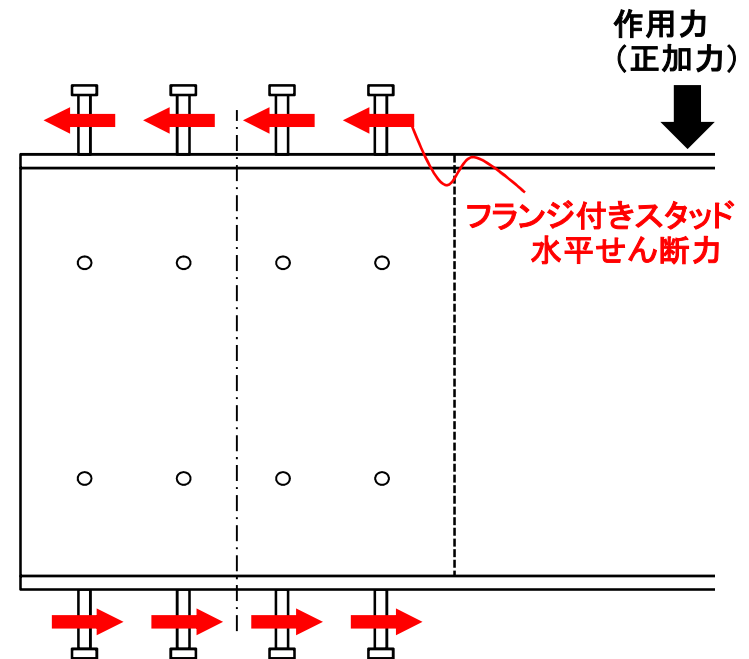
- ・鋼桁フランジとコンクリートの摩擦力  
おおよびウェブコバ面での抵抗比率はほぼ0%  
⇒ 抵抗力は微小であり無視できることがわかった

# 解析結果(接合部抵抗比率)

## フランジスタッド水平せん断力



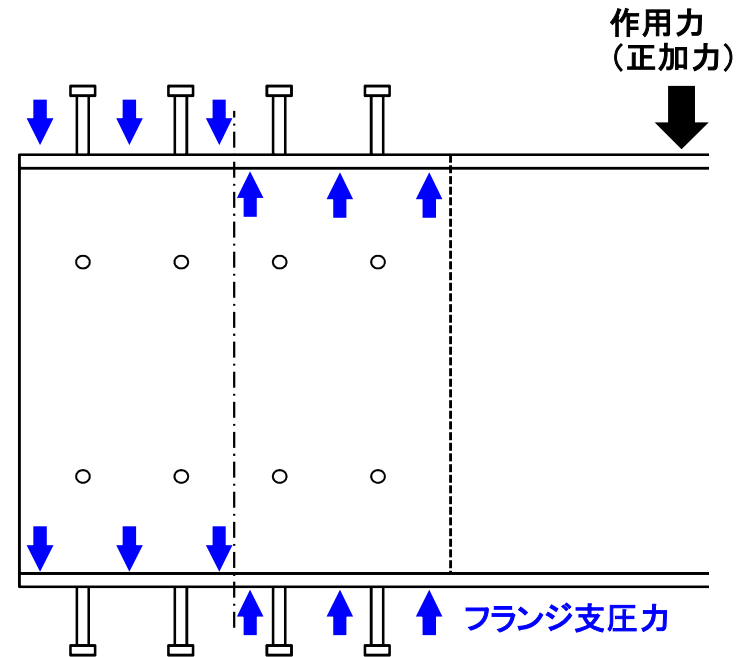
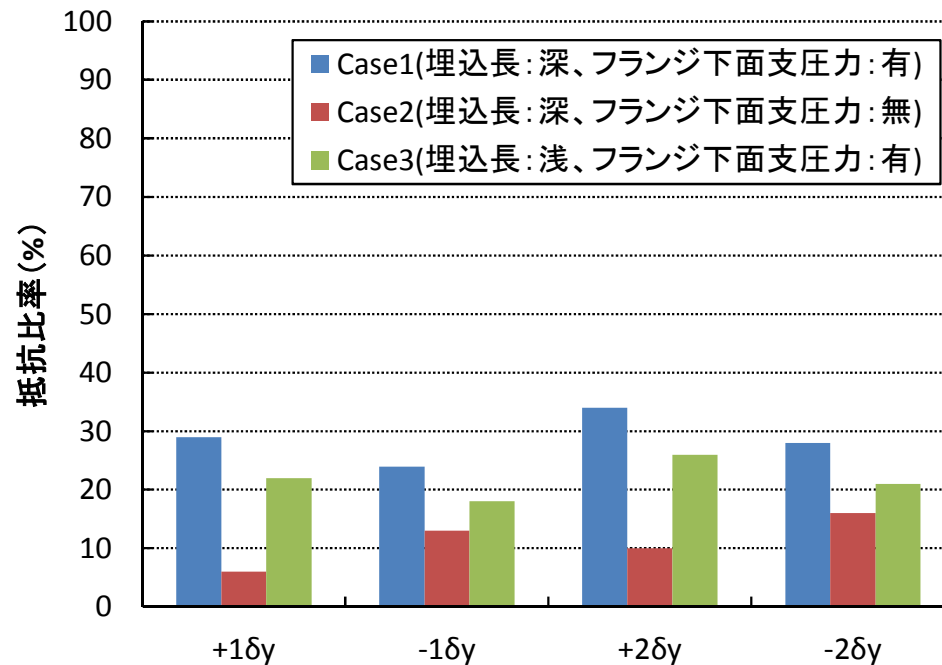
フランジスタッド水平せん断力抵抗比率



- ・Case1、Case2でほとんど差違なし  
⇒フランジ下面の支圧の有無による差違なし
- ・Case3は、Case1より4~9%低い抵抗率  
⇒埋込長の浅いケースで抵抗率が低下

# 解析結果(接合部抵抗比率)

## フランジ支圧力



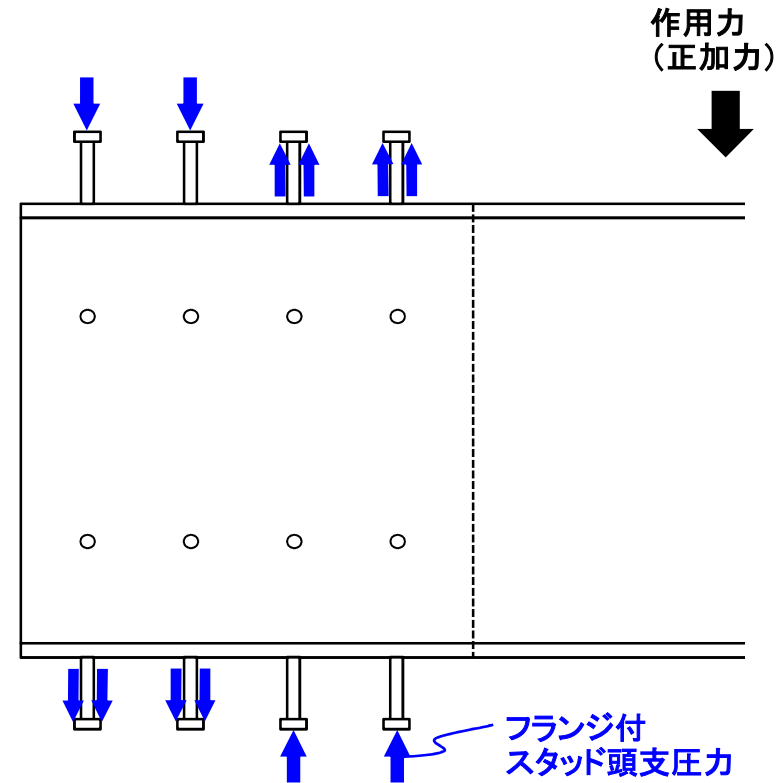
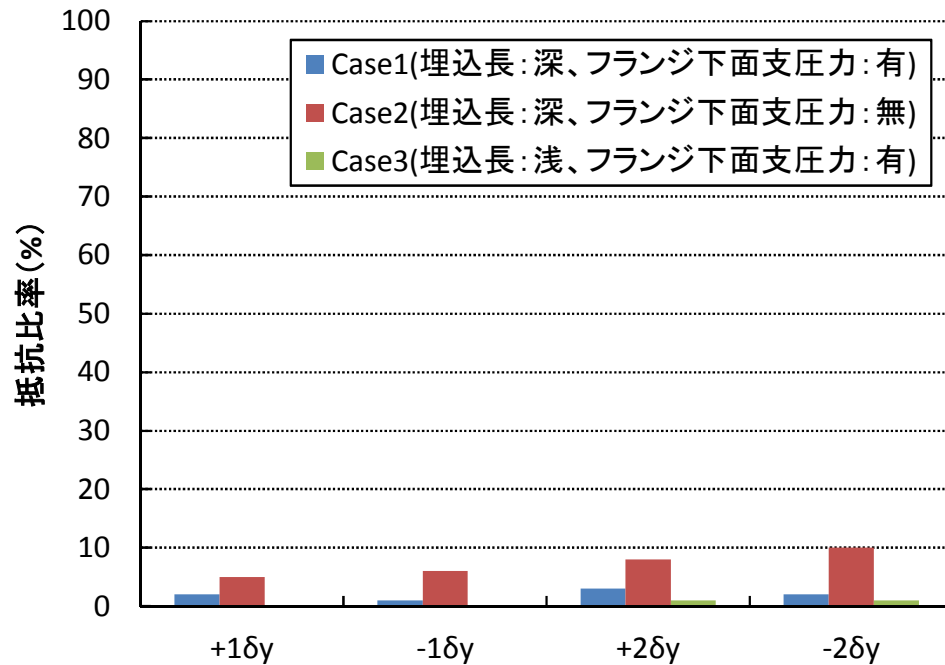
### フランジ支圧力抵抗比率

- ・Case1に比べ、Case2の方が低い値を示した  
⇒フランジ下面の支圧の有無による影響が現れていた
- ・Case1よりCase3の方が、6%程度低い値を示した  
⇒埋込長の浅いケースで抵抗率が低下



# 解析結果(接合部抵抗比率)

## フランジスタッド頭での抵抗力

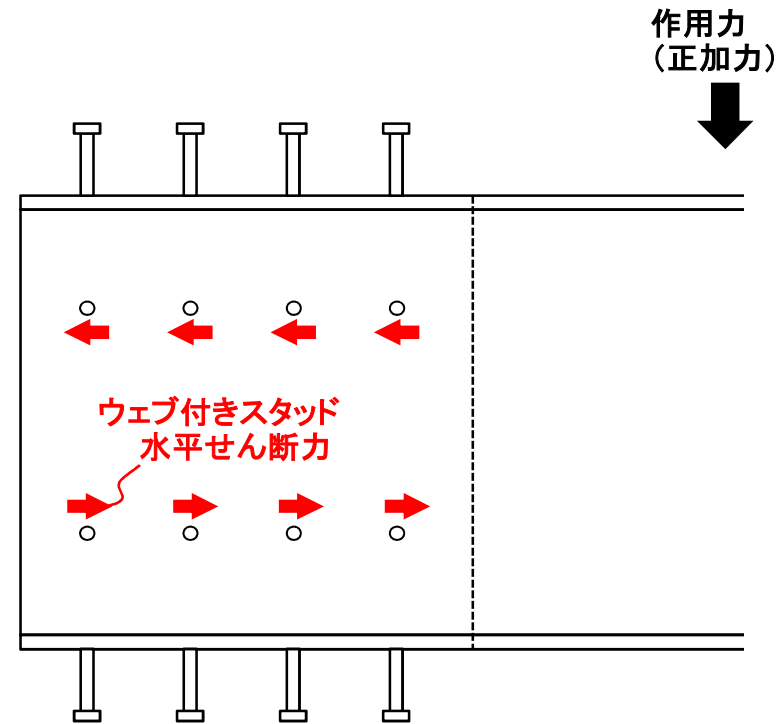
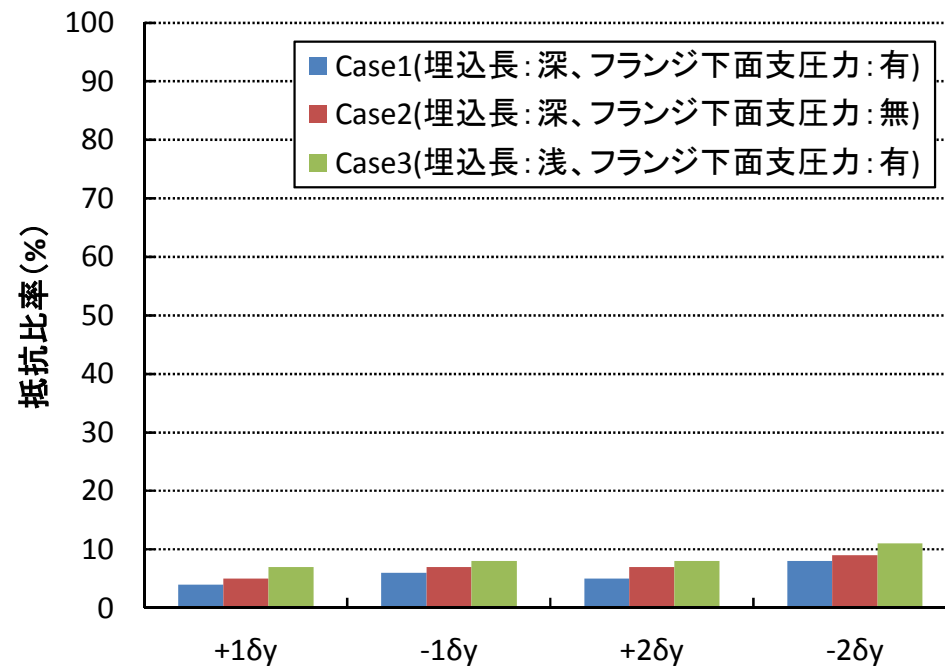


## フランジスタッド頭での抵抗力

- Case1、Case3では、0~3%と抵抗比率は微小
- Case2では、正加力時は5~8%、負加力時は6~10%であった  
⇒ Case2では、フランジ下面の支圧がないため、スタッド頭で抵抗していると考え

# 解析結果(接合部抵抗比率)

## ウェブスタッド水平せん断力

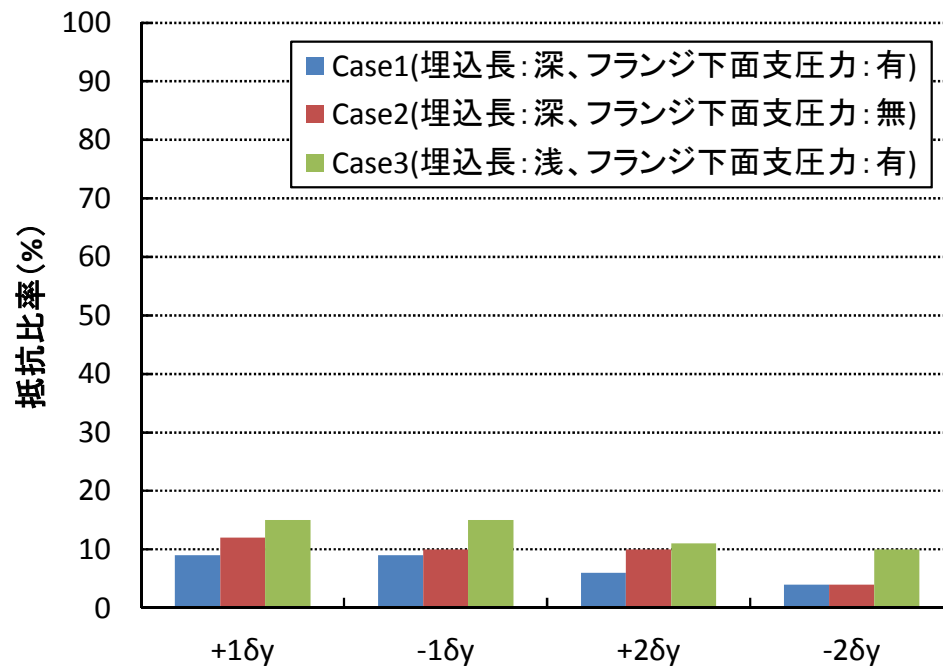


## ウェブスタッド水平せん断力

- ・Case1では4~8%、Case2では5~9%、Case3では7~11%
- ・荷重倍率が増加するにつれ、抵抗比率が上昇する傾向

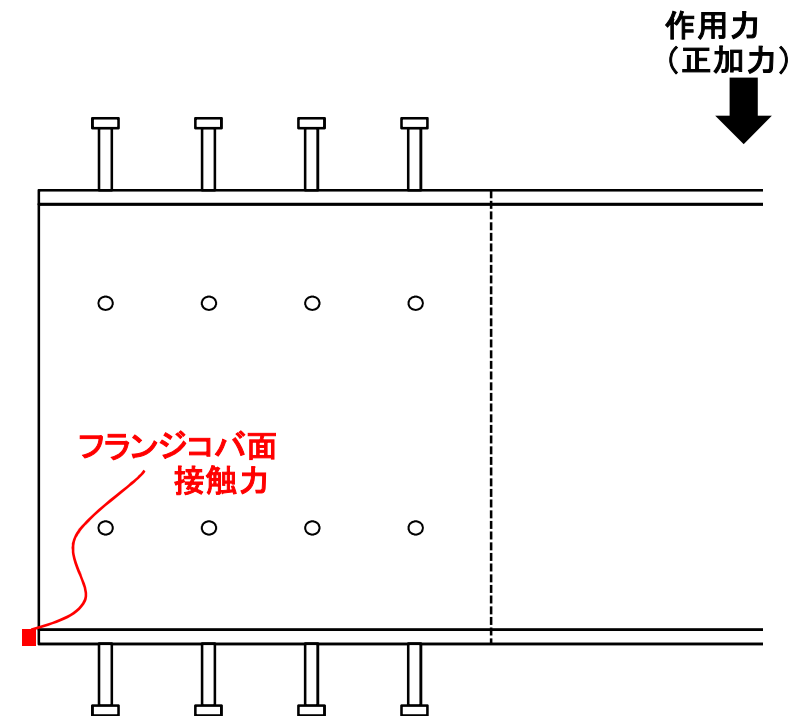
# 解析結果(接合部抵抗比率)

## フランジコバ面接触力



## フランジコバ面接触力

- ・Case1では4~9%、Case2では4~12%、Case3では10~15%
- ・荷重倍率が増加するにつれ、抵抗比率が低下する傾向



## 解析結果（接合部抵抗比率）

- ◇ フランジ付きスタッドの水平せん断抵抗率の比率は、作用力の60%程度であり、スタッドの抵抗力に加え、鋼桁フランジ面の支圧力やフランジコバ面の接触力等の抵抗力が期待できることが分かった。

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. 設計に関する課題
4. 接合部の断面特性把握のための  
全体系平面骨組み解析
5. スタッドと支圧の抵抗機構に関する  
実験供試体の有限要素解析

## 6. まとめ

## 6. まとめ

- ◇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される結果となった
- ◇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な結果となった
- ◇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

## 6. まとめ

◇解析結果と実験結果を比較して、荷重－変位関係の初期勾配は概ね一致する結果となった

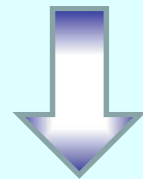
◇接合部の曲げモーメントに対する抵抗力は

- 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

## 6. まとめ

◇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

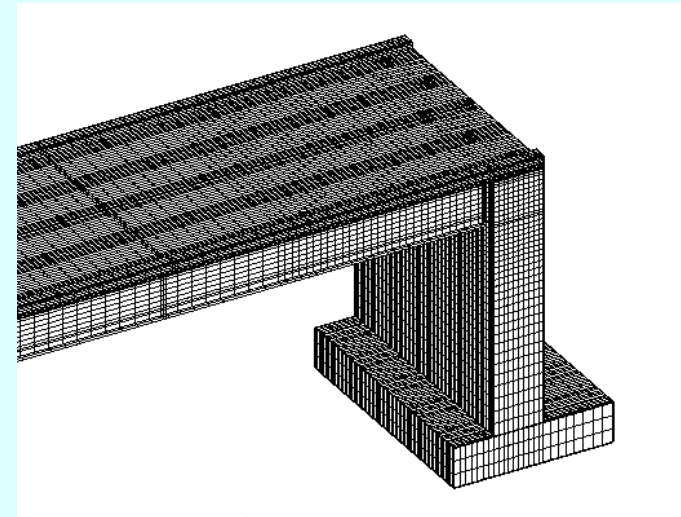


スタッドを用いた鋼-コンクリート接合部をコンパクトに設計できる可能性がある



## 6. まとめ

◇今後、実橋モデル(床版を考慮)に対して実施する有限要素解析により、スタッド以外の抵抗要素が実橋の条件でも、同様に期待できるか検討予定である



実橋モデル(床版考慮)概要図

結果を踏まえ、鋼-コンクリート接合部の設計法を提案するべく、検討を継続していく

ご清聴ありがとうございました



一般  
社団法人

日本橋梁建設協会

Japan Bridge Association Inc.