

# 第 6 回 定 期 研 究 会

## 平成 28 年度 SGST 第 6 回定期研究会 議事録

日 時：平成 29 年 2 月 24 日 16:00～17:30

場 所：名城大学 天白校舎 研究実験棟Ⅱ 多目的室

出席者：青嶋【フジヤマ】，伊藤(義)【岐阜高専】，入山【中日本C】，内山，藤井【パルス  
テック】，大岩【東京鐵骨】，岡本(利)【橋梁調査会】，小畑【名工大】，加藤(正)，  
山田【中日本H】，加藤(正)，木原，高地，菱川，松村【瀧上工業】，川西【豊田  
高専】，館石，北根，清水(優)，判治【名古屋大】，小枝，萬谷【川田工業】，嶋口，  
宗本【愛工大】，清水(隆)【建設技術研究所】，園部【J I P】，竹内【福美建設】，  
竹之内，中村(保)【住友理工】，塚本【日之出水道】，長瀬，中村(信)，平野，村  
瀬【日本車輛】，中原【日本橋梁】，西嶋【宇野重工】，花輪【日本鉄塔】，原田【復  
建エンジ】，水谷【J F E エンジ】，水野【サンワ構造】，宮崎【デーロス J】，村  
井【共和電業】

以上 43 名(敬称略)

### 1. 定期研究会

講演① (16:00～17:30)

講演者：宇都宮大学 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科 教授 中島 章典氏

講演項目：【鋼コンクリート複合構造のずれ止め】

#### 講演内容

講演【鋼コンクリート複合構造のずれ止め】

鋼コンクリート複合構造において、鋼部分とコンクリート部分を一体化するために配置されるずれ止めは、複合構造を成立されるために非常に重要な役割をする要素である。ずれ止めは、一般に少数のずれ止めを配置した押抜き試験という要素試験の結果に基づき、設計強度式等が策定され基準書などに提案されている。しかし、これら設計強度式は必ずしも実際の構造物内のずれ止めの挙動を適切に反映していないとの指摘もある。

長年にわたって、鋼コンクリート複合構造に関する種々の実験研究を実施されており、特に、ずれ止めとして用いられる頭付きスタッドおよび孔あき鋼板ジベルの実験研究を続けてられてきたずれ止めに着目した実験研究の内容を紹介された。

また、要素試験体内におけるずれ止めの挙動と実構造物内のずれ止めの挙動の対応関係を明らかにすることは重要であり、その端緒の1つとなる研究として、頭付きスタッドを有する合成はり試験体と要素試験としての押抜き試験体内におけるスタッドの挙動の対応関係を詳細に調べた実験結果を紹介された。

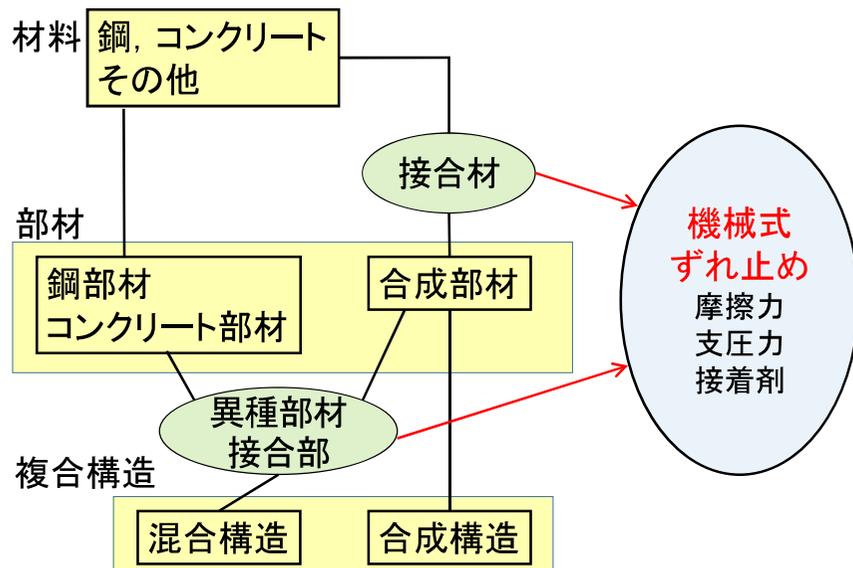
本講演では、非常に活発な質疑応答が行われた。

以上

# 鋼コンクリート複合構造 のずれ止め

宇都宮大学  
中島章典

## 複合構造の構成



3

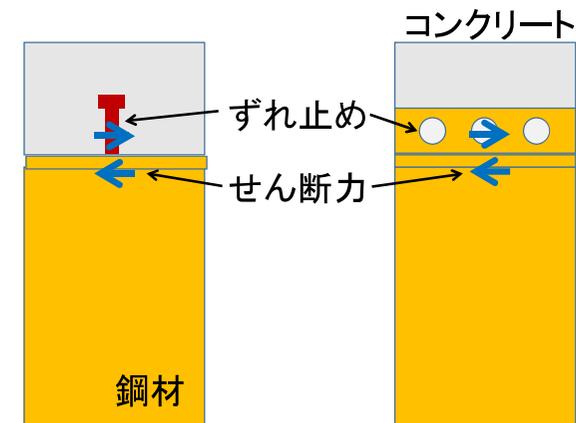
## 鋼コンクリート複合構造 (Steel concrete hybrid structures)

- 鋼材とコンクリート材料という異種材料, あるいは鋼部材とコンクリート部材という異種部材を組み合わせて, 単一材料あるいは単一部材では得られない優れた特性を有する構造.
- 複合構造は合成構造と混合構造に分類.

2

## 複合構造のずれ止めとは

- ずれ止め (Shear connector) は鋼材料とコンクリート材料が接触する界面でずれを拘束することから, 一般にせん断を受ける.



4



スタッドを用いた合成桁橋

5



利別川第一橋(連続合成2主桁橋, 北海道中川郡池田町, 86.5m)

6



7

ブロックジベル(馬蹄形ジベル), アンクルジベル

- 高い耐力, 高い疲労強度.



鉄道用合成桁



波形鋼板ウェブ橋

8

- 頭付きスタッド(Headed stud shear connector)

柔なずれ止めであるが、多数配置して 合成桁等に用いられる。



9

## 形鋼シアコネクタ

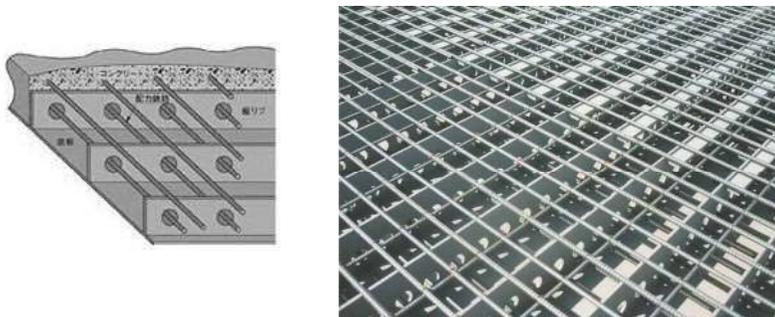
- 施工中における薄鋼板の補剛も兼ねた逆L型あるいは逆T型の形鋼を鋼板に溶接.



沈埋函

10

## 孔あき鋼板ジベルの使用例



鋼コンクリート合成版

11

## 孔あき鋼板ジベルの使用例



ラーメン橋脚剛結部



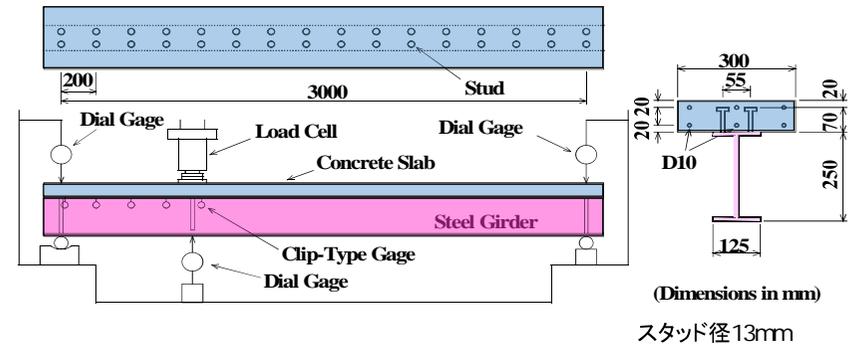
土留め壁

12



スラブ止めを用いた非合成桁橋

13



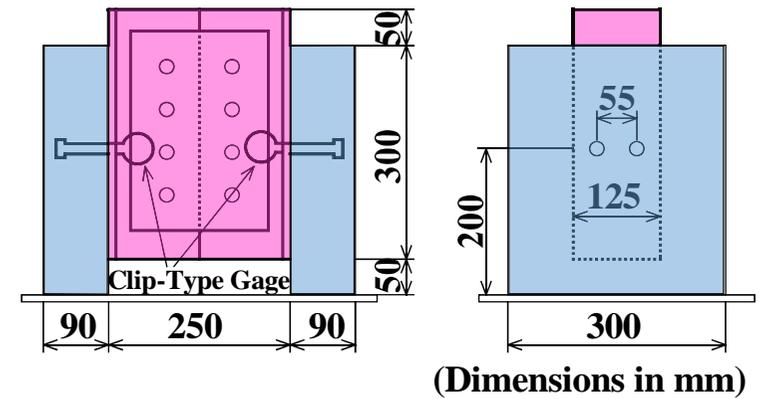
不完全合成桁試験体の概要 (1995年)  
Composite girder test

14



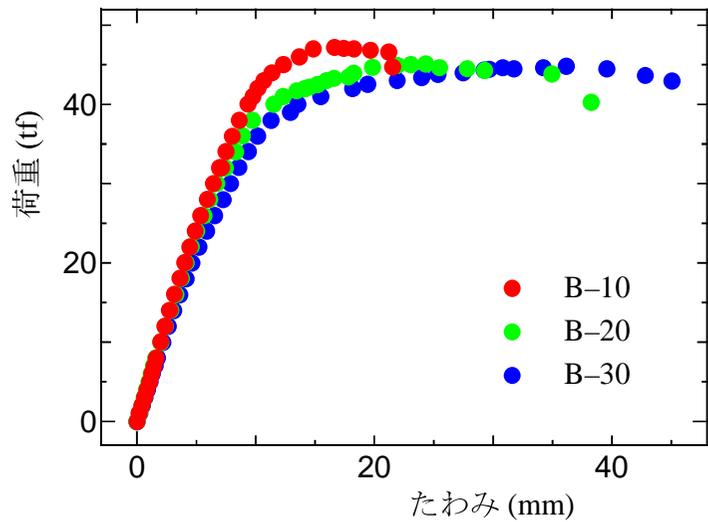
合成はりの試験状況

15



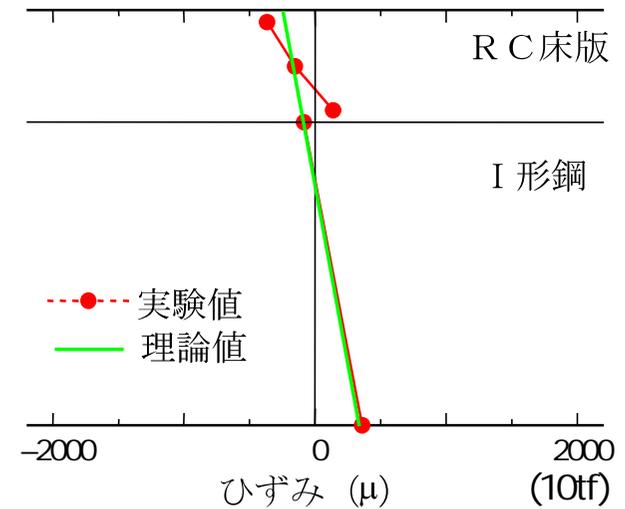
押抜き試験体の概要

16



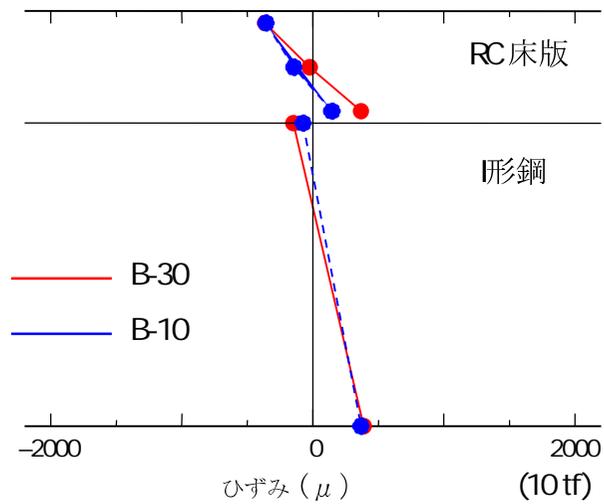
荷重載荷点における荷重とたわみの関係

17



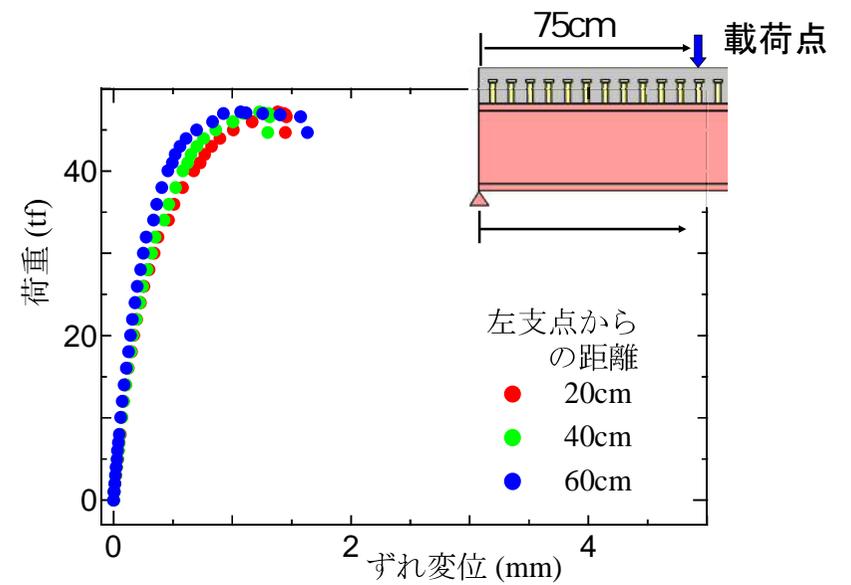
合成はり高さ方向のひずみ分布 (B-10)

18



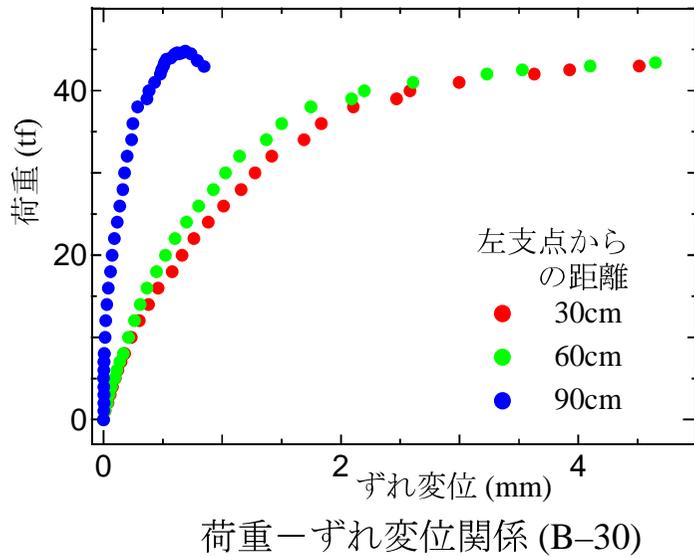
合成はり高さ方向のひずみ分布

19

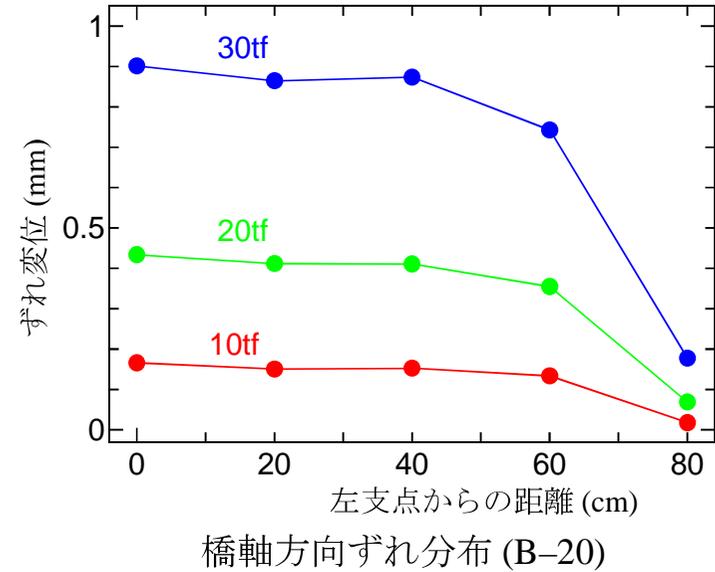


荷重—ずれ変位関係 (B-10)

20



21

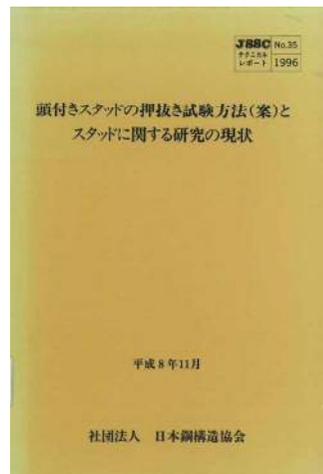
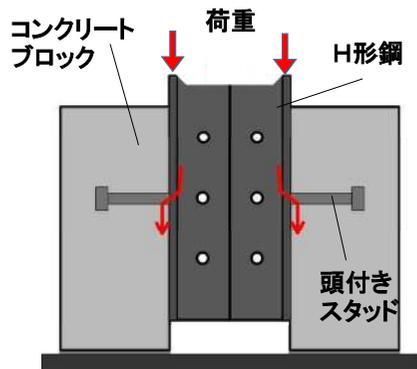


22

## 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案) 日本鋼構造協会, 平成8年(1996年)

### 土木, 建築の混合委員会

建築 尾形, 井上, 田川, 他  
土木 松井, 平城, 清宮, 大谷, 中島, 他



23

## 頭付きスタッドの押抜き試験方法の標準化

### 背景・目的

- 試験体の形状寸法, スタッド配置, 製作方法, 拘束条件, 計測方法が統一されておらず, これが試験結果のばらつきの原因になっている.
- 高強度スタッドの開発が行われており, 弾性剛性など, 終局時のせん断耐力以外の力学特性の評価も必要.
- 解析的検討のために, スタッド1本当りの力学特性を抽出することが必要.
- それまで実験者が任意に決定していたが, 実構造物と極端に寸法比が異なると違った挙動となる.

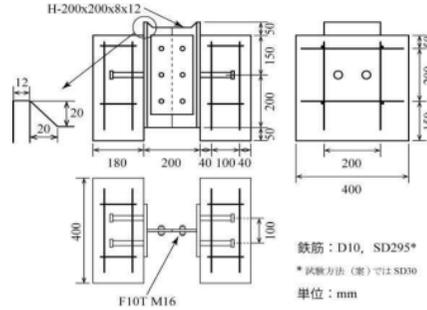
**スタッドの力学的諸特性の評価法の統一**

24

# 頭付きスタッドの押抜き試験方法の標準化

標準化に向けた実験的検討

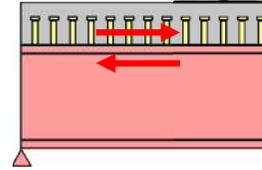
- ・コンクリートブロックの幅
- ・コンクリートブロックの厚さ
- ・H形鋼フランジの幅, 厚さ
- ・スタッドの配置段数
- ・拘束条件(開き止めの有無)
- ・打込み方向



スタッドの挙動に影響する因子は、コンクリート側、鋼側ともに多数あり、実構造物に見合った寸法を採用することが望ましい。しかし、ブロックやH形鋼の形状は設計条件となっていない場合が考えられ、任意に決定される可能性が高い。



実験データが安定する必要最小寸法を決定した。



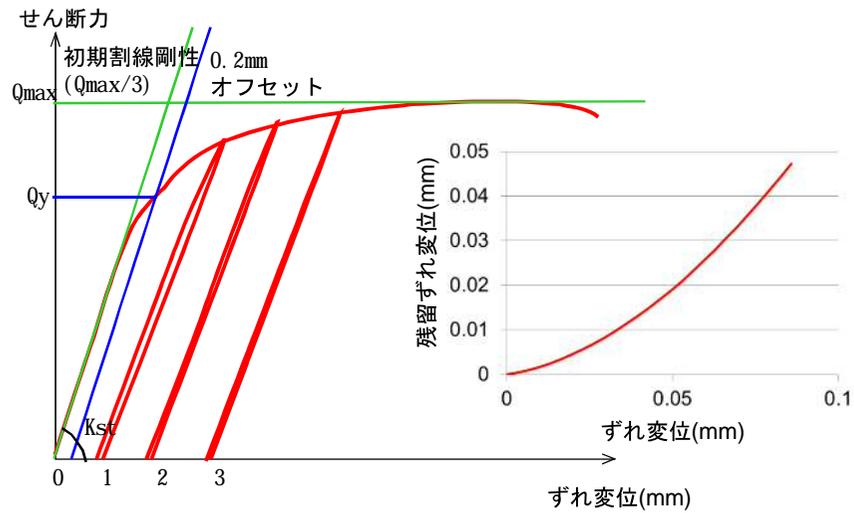
通常の静的押抜き試験状況



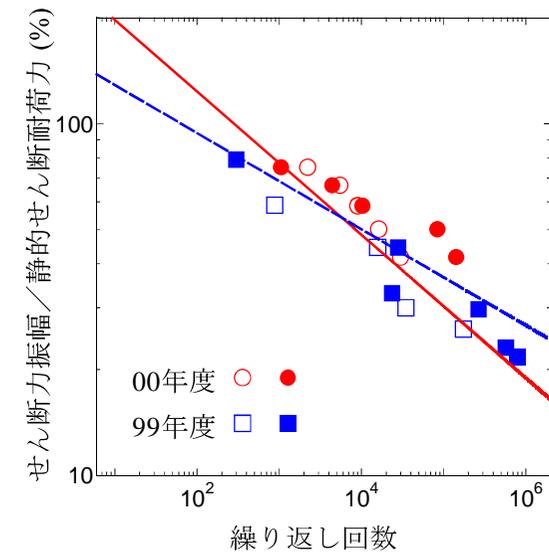
押抜き試験体の型枠



通常の疲労押抜き試験



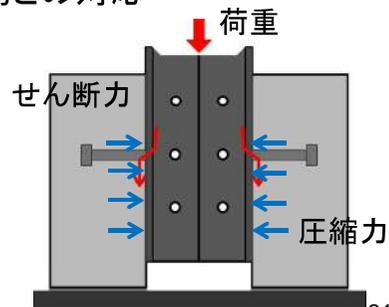
静的押抜き試験結果の整理



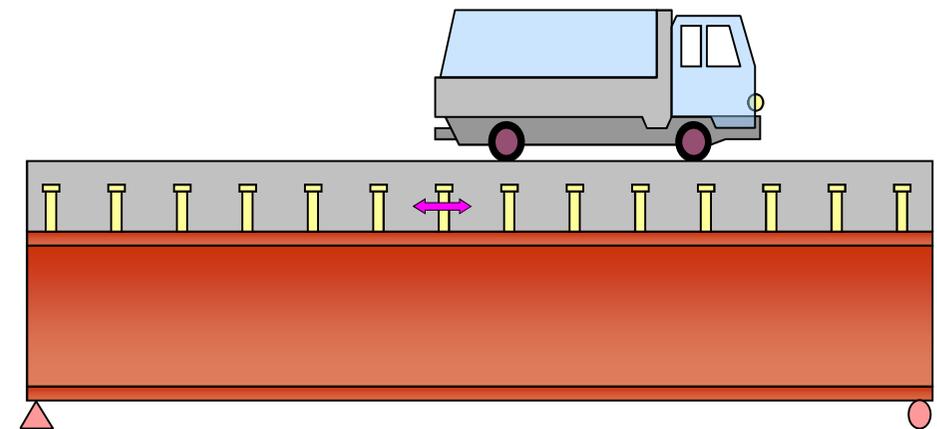
せん断力振幅—繰り返し数関係(S-N線図)

## スタッド押抜き標準試験の問題点

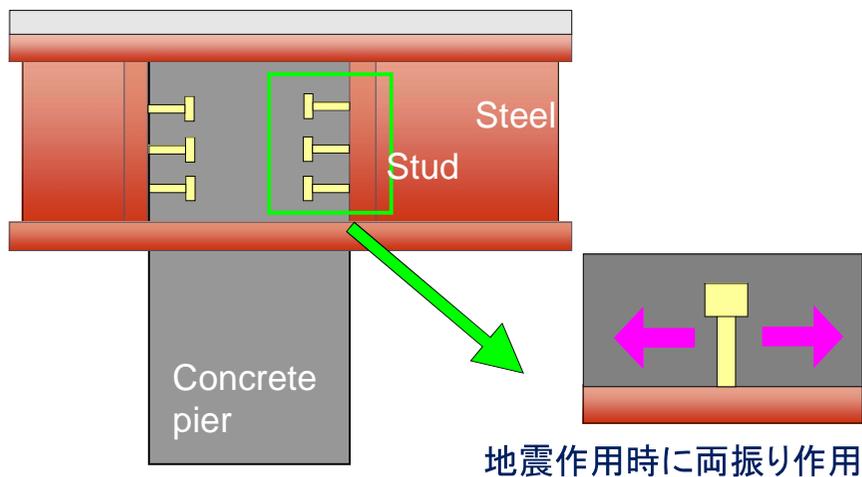
- コンクリートブロックの支持条件
- せん断力以外の力の作用
- コンクリートブロックのひび割れ
- 実構造物中のスタッドの挙動との対応
- 片振り試験のみ
- 両振りを受ける場合の評価
- スタッドの応力



## 両振り作用を受ける頭付きスタッドの挙動

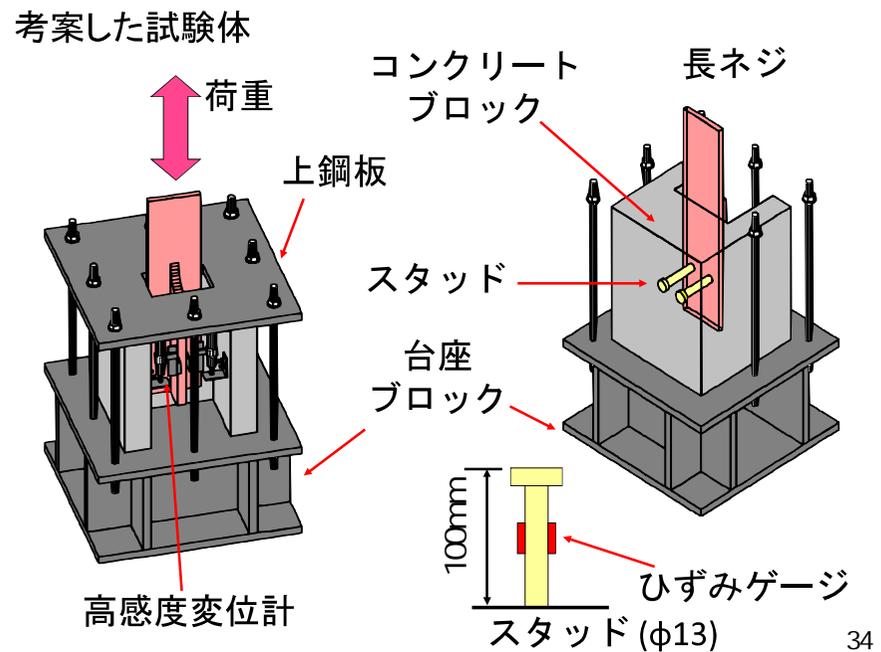


合成桁のスタッドは車両走行により両振りせん断力を受ける。



### 鋼コンクリート複合ラーメン橋剛結部

33



34



Photo1 試験体

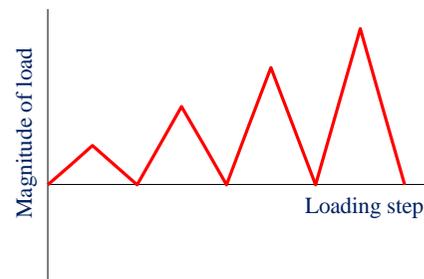


Photo2 載荷状況

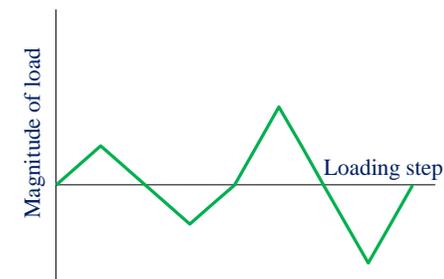
35

### 静的載荷試験

材料特性が異なる3シリーズの片振り, 両振り載荷試験

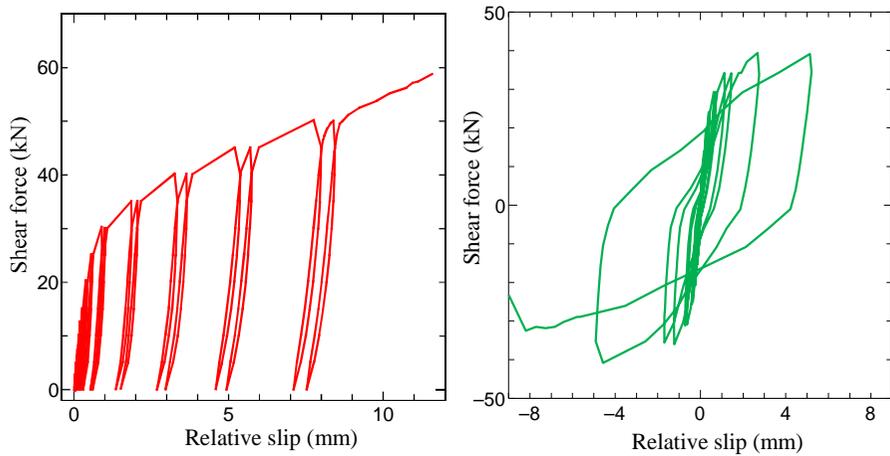


片側で漸増繰返し載荷



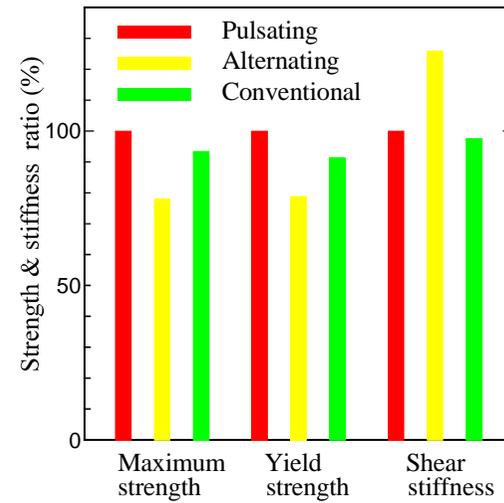
両振りで漸増繰返し載荷

36



片振りおよび両振り時のせん断力-ずれ変位関係  
(異なった関係)

37



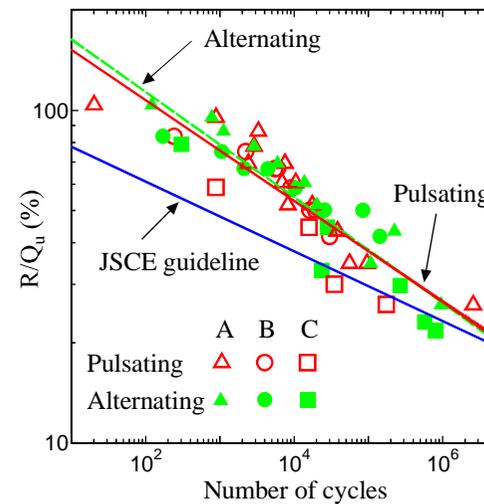
片振り時の最大せん断力, 降伏せん断力は両振り時より30%程度大きい。  
(片側振幅の採用)

最大せん断力, 降伏せん断力, ずれ剛性の比較

38

## 疲労試験

- 静的試験に対応して3シリーズの試験体を使用
- せん断力振幅 15 ~ 60kN, 載荷振動数0.1, 3Hz.
- 片振り載荷
  - 最小荷重 2.5kNとして載荷
- 両振り載荷
  - 等しい振幅の最大, 最小荷重を載荷



$Q_u$  : せん断耐力  
 $R$  : せん断力振幅

$R/Q_u$  と繰返し回数の関係

片振りおよび両振り載荷時の疲労寿命は同程度

39

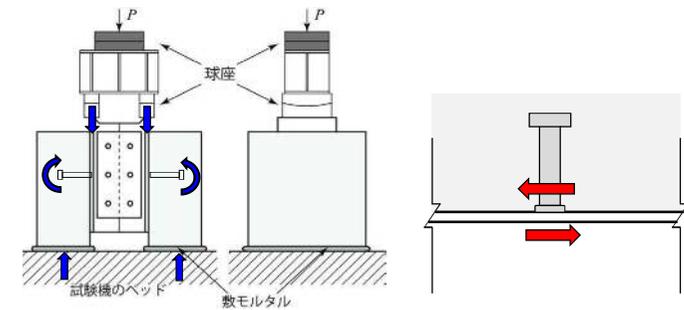
40

## 両振り载荷を受ける頭付きスタッドの挙動のまとめ

- 片振り時および両振り時のスタッドのせん断耐力は若干異なる。
- 片振り時および両振り時のスタッドの疲労強度は同程度である。
- 繰返し载荷時のせん断力-ずれ変位関係は種々の複合構造物の数値解析に際して有用である。

41

## 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)



スタッド基部のせん断抵抗だけでなく、ブロックの回転、頭部の引抜抵抗、フランジの回転、ブロックとの相互作用など  
 →スタッドを含む「構造」として考える必要がある。  
 「境界条件」、「拘束条件」がスタッドの挙動に与える影響を検討

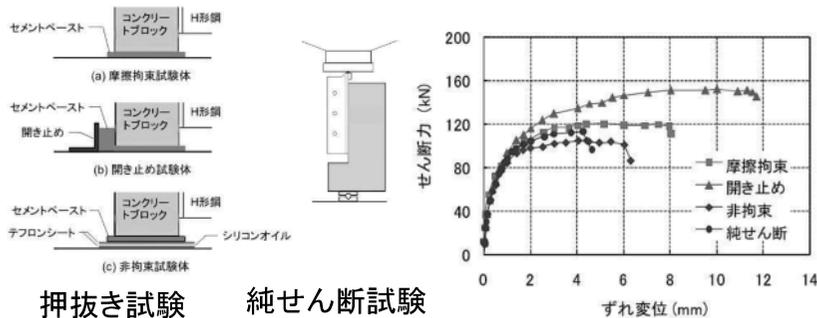
42

## 頭付きスタッドの押抜き試験における境界条件に関する検討

### 押抜き試験方法の課題

試験方法(拘束条件)が異なると、せん断耐力、せん断力-ずれ変位関係が異なる。せん断力以外の力が作用する。

### 島による検討(土論Vol.67, No.2, 2011)



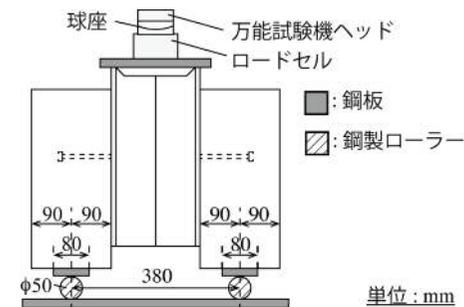
押抜き試験

純せん断試験

43

## 新たな試験方法の提案

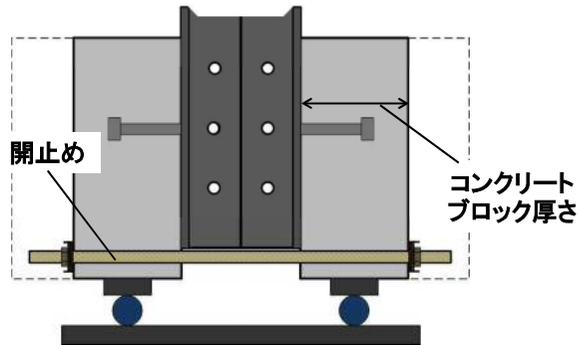
“回転と水平移動を可能とする支承を使用”  
 コンクリートブロックに作用する力の状態を明確にできる。  
 摩擦拘束なし、反力点一定



単位: mm

44

可動支承を用いた押抜き試験において、**支承位置**、**開止めの有無**、**コンクリートブロック厚さ**を実験要因とした実験を行い、各要因が頭付きスタッドのせん断カーズれ変位関係に及ぼす影響を確認する。



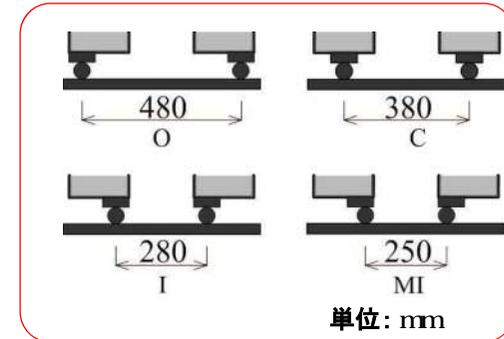
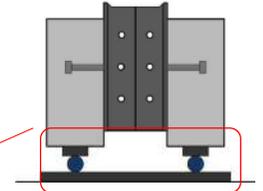
45

## 押抜き試験概要

<実験要因>

**支承位置**

支承の位置を変化させて比較する。



46

<試験体概要>

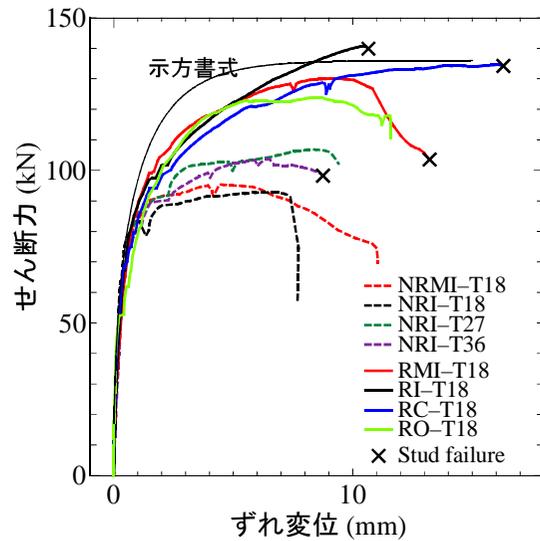
試験体名	開止めの有無	支点間距離 (mm)	コンクリートブロック厚さ(mm)
NRMI-T18	無し(NR)	250(MI)	180(T18)
NRI-T18	無し(NR)	280(I)	180(T18)
NRI-T27	無し(NR)	280(I)	270(T27)
NRI-T36	無し(NR)	280(I)	360(T36)
RMI-T18	有り(R)	250(MI)	180(T18)
RI-T18	有り(R)	280(I)	180(T18)
RC-T18	有り(R)	380(C)	180(T18)
RO-T18	有り(R)	480(O)	180(T18)

47



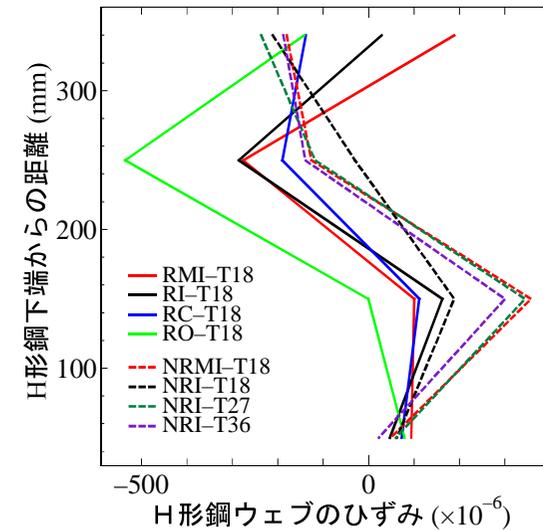
押抜き試験の状況(スタッド軸径19mm)

48



せん断力-ずれ変位関係

49



ウェブのひずみ分布

50

## 実験結果

### <せん断耐力>

試験体名	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	計算値		実験値 kN	実験値 /計算値
		式(1) kN	式(2) kN		
NRMI-T18	35.9	142	136	95	0.70
NRI-T18				93	0.68
RMI-18				130	0.95
RI-T18				141	1.03
RC-T18				135	0.99
RO-T18				124	0.91
NRI-T27	38.9	148		107	0.78
NRI-T36				104	0.76

51

## せん断耐力

### <せん断耐力>

スタッドのせん断耐力の設計値

平城らの式

$$V_{su} = 31A_{ss} \sqrt{\frac{h_{ss}}{d_{ss}} f'_c} + 10000 \quad (N) \quad (1)$$

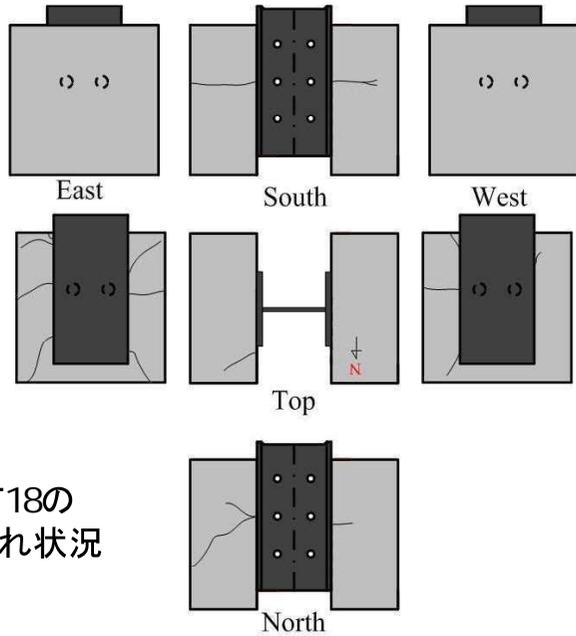
スタッドの引張強度で決まる式

$$V_{su} = A_{ss} f_{su} \quad (N) \quad (2)$$

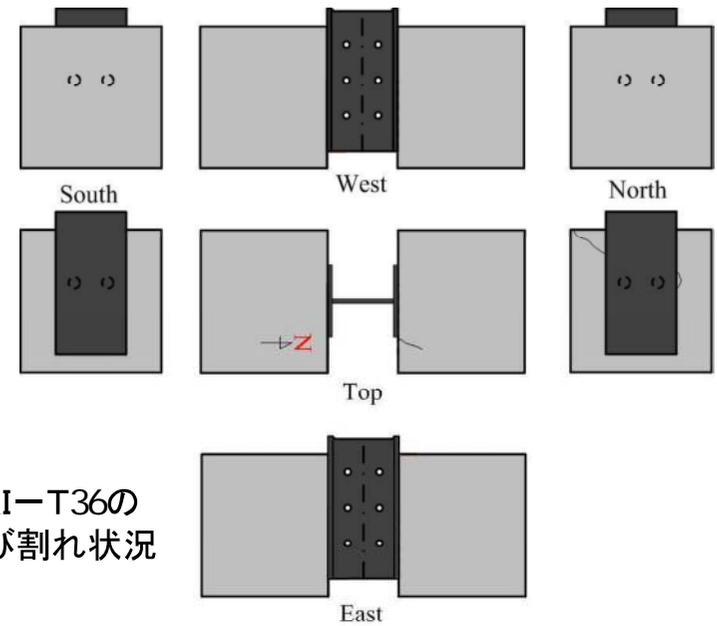
式(1), 式(2)のうち小さい方の値を  
スタッドのせん断耐力とする。

$$f_{su} = 480 \text{ N/mm}^2$$

52

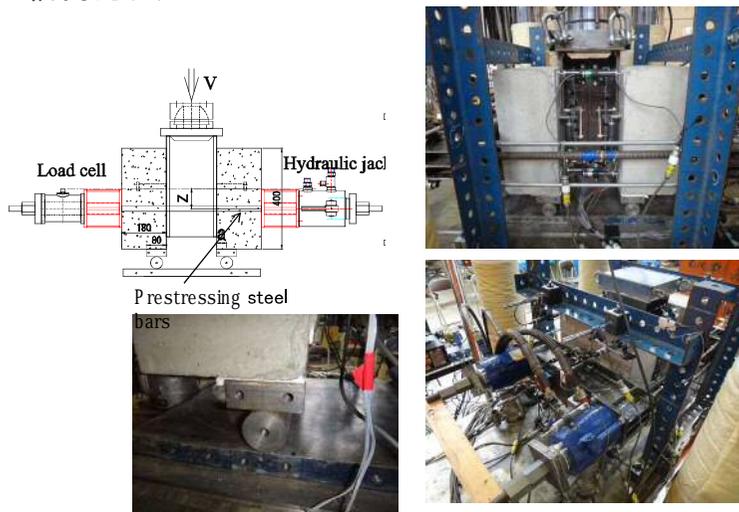


RC-T18のひび割れ状況



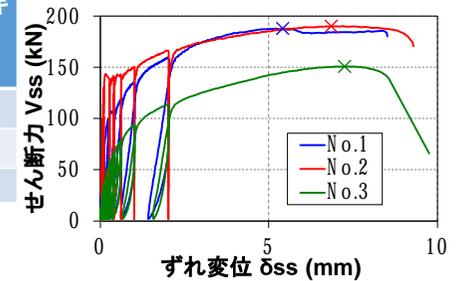
NRI-T36のひび割れ状況

圧縮力とせん断力が同時に作用する場合  
 載荷方法



圧縮力とせん断力が同時に作用する場合

試験体 No.	軸圧縮力 C (kN/本)	支承の位置 a (mm)	水平ジャッキの位置 z (mm)
1	-V	90	90
2	-180	40	0
3	-0.5 V	40	80



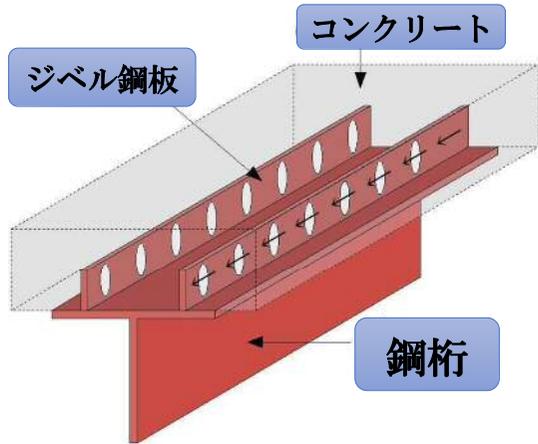
$$V_{ssud} = V_{ssu} + \mu \cdot N$$

示方書式

軸圧縮力を考慮したせん断耐力評価式の提案  
 (複合構造標準示方書2014年版)

## 孔あき鋼板ジベル

- 鋼コンクリート複合構造のずれ止めとして用いられる孔あき鋼板ジベルは、ジベル孔内のコンクリートのせん断抵抗により鋼材とコンクリートを一体化させる。



57

### 土木学会複合構造標準示方書(2009年)の耐力評価式(保坂ら)

貫通鉄筋を有する場合

$$V_u = (1.85A - 26.1 \times 10^3) / \gamma_b$$

$$A = \frac{\pi(d^2 - \phi^2)}{4} f'_{cd} + \frac{\pi\phi^2}{4} f_{ud}$$

$$40.1 \times 10^3 \leq A \leq 383.3 \times 10^3$$

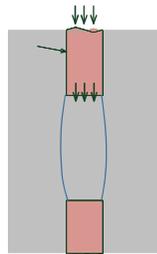
貫通鉄筋が無い場合

$$V_u = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \left( \frac{t}{d} \right)^{1/2} f'_{cd}$$

$$17.3 \times 10^3 \leq A \leq 152.4 \times 10^3$$

$d$ : ジベル孔径  
 $f'_{cd}$ : コンクリートの設計圧縮強度  
 $\phi$ : 貫通鉄筋径  
 $f_{ud}$ : 貫通鉄筋の設計引張強度  
 $t$ : 鋼板の板厚  
 $\gamma_b$ は部材係数



59

## 背景

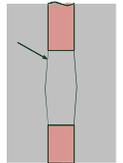
- 孔あき鋼板ジベルはLeonhardtらによって発案された。
- 孔あき鋼板ジベルは、ジベル孔内のコンクリートのせん断抵抗によってせん断力を伝達。
- ジベル孔部分のコンクリートが破壊する場合の孔あき鋼板ジベルの耐力は、ジベル孔内のコンクリートのせん断強度とジベル孔面積に依存。
- レオンハルトらの耐力評価式

$$V_u = 1.70d^2 f'_c$$

$f'_c$ : コンクリートの圧縮強度

$d$ : ジベル孔径

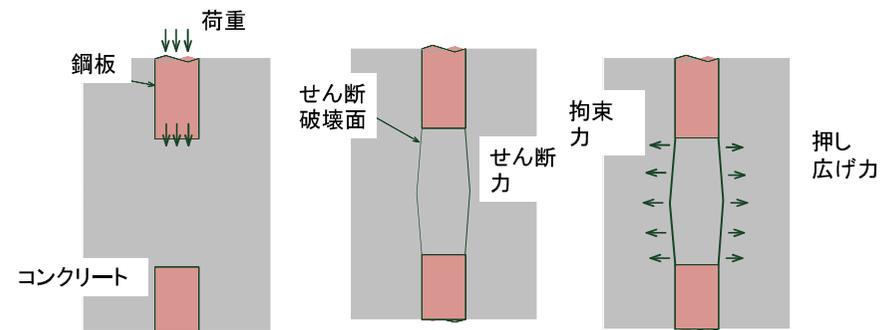
オリジナルの耐力評価式は、コンクリートの立方体強度を用いているため、上式は円柱強度に換算。



せん断破壊面

58

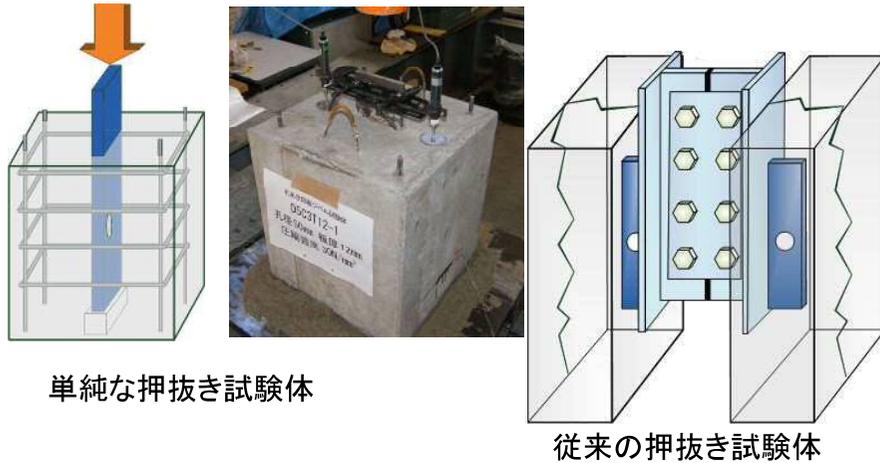
## せん断抵抗メカニズム(貫通鉄筋無し)



- ジベル鋼板から孔内コンクリートに力が伝達
- ジベル孔部分のコンクリートの2面せん断破壊
- せん断破壊面のずれ変位によって押し広げ力が生じる。

60

## 単純な押抜き試験に基づく実験 (貫通鉄筋無し)



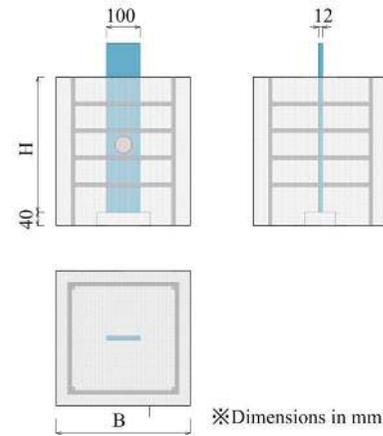
単純な押抜き試験体

従来の押抜き試験体

61

## 実験内容

コンクリートブロックの幅B, 高さHをパラメータとした試験体



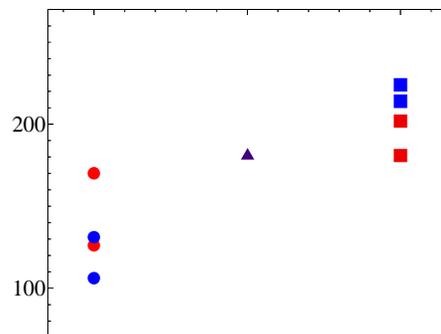
※Dimensions in mm

試験体	B(mm)	H(mm)	備考
B4H4	400	400	基準
B4H3	400	300	
B4H5	400	500	
B3H4	300	400	
B5H4	500	400	
B4H4NB	400	400	配筋無
B4H4NP	400	400	孔無

62

## 実験結果

せん断耐力と試験体寸法の関係



複合示方書

$$V_{psud} = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b$$

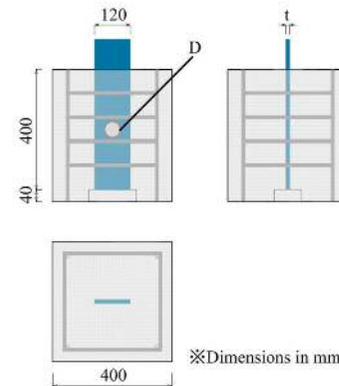
$$A = \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{t}{d}\right)^2 f'_{cd}$$

$V_{psud}$  : 設計せん断耐力  
 $d$  : 孔径  
 $t$  : 板厚  
 $f'_{cd}$  : コンクリート圧縮強度

63

## 実験内容

孔径, コンクリートの圧縮強度, 板厚をパラメータとした試験体

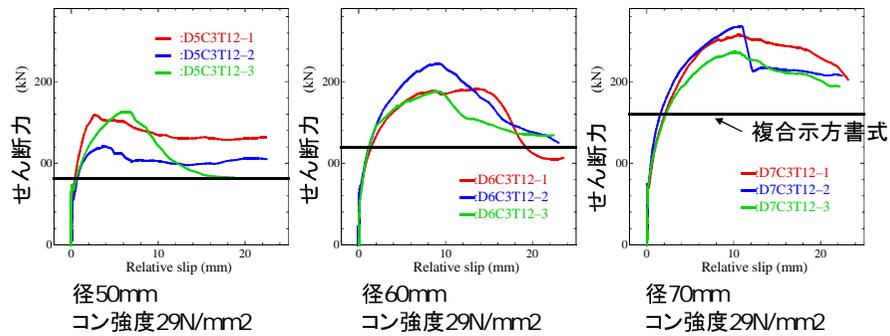


※Dimensions in mm

試験体	D(mm)	$f'_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	t(mm)
D5C3T12	50	30	12
D6C3T12	60	30	12
D7C3T12	70	30	12
D5C4T12	50	40	12
D5C5T12	50	50	12
D5C3T19	50	30	19
D5MT12	50	-	12

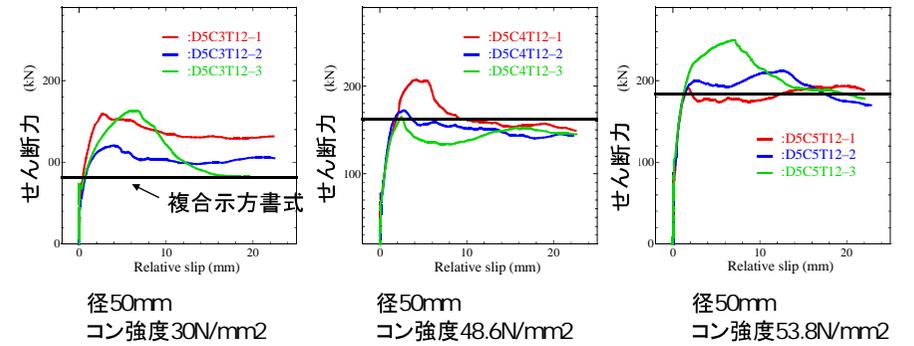
モルタル試験体

64



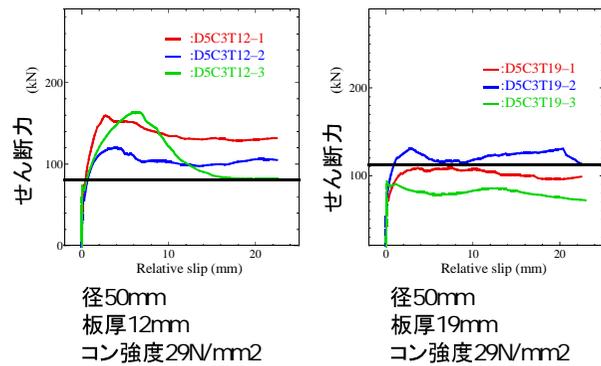
せん断カーズれ変位関係(ジベル孔径の影響)

65



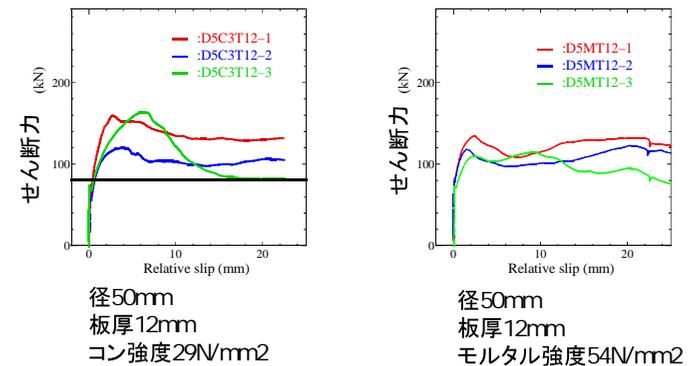
せん断カーズれ変位関係(コンクリートの圧縮強度の影響)

66



せん断カーズれ変位関係(ジベル鋼板厚の影響)

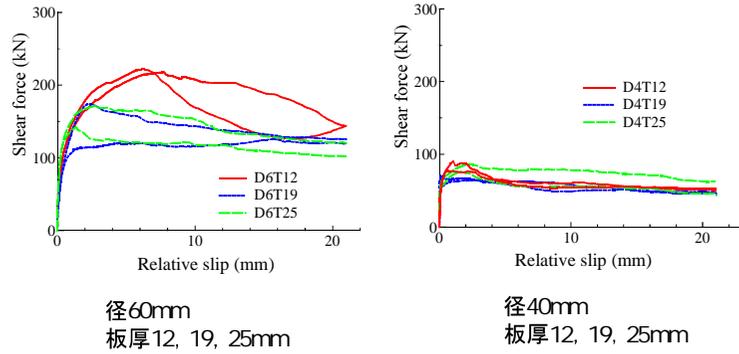
67



せん断カーズれ変位関係(モルタル試験体)

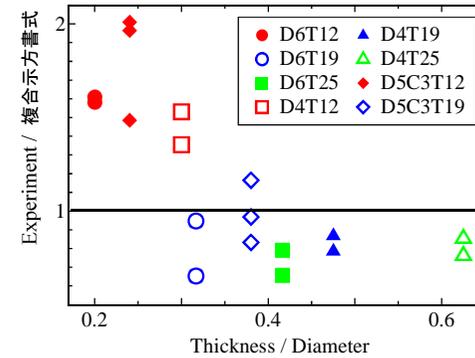
68

## せん断耐力に及ぼすジベル鋼板の板厚の影響



69

## せん断耐力に及ぼすジベル鋼板の板厚の影響



複合示方書式 (2009年)

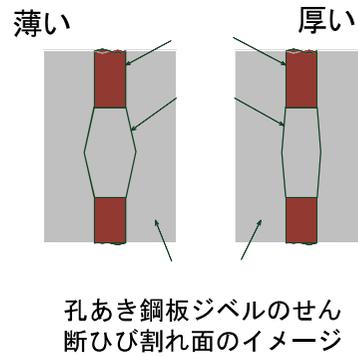
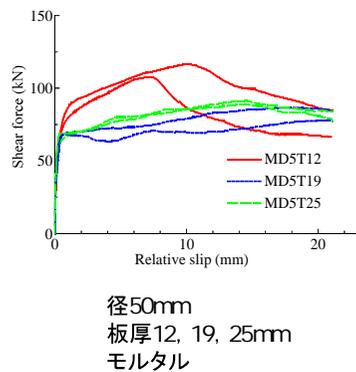
$$V_u = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \left( \frac{t}{d} \right)^{1/2} f'_{cd}$$

$$17.3 \times 10^3 \leq A \leq 152.4 \times 10^3$$

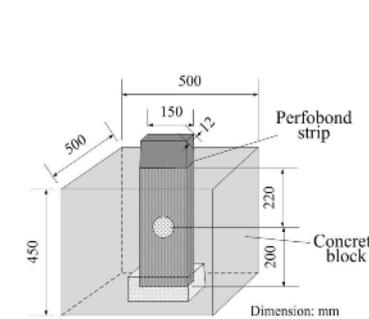
70

## せん断耐力に及ぼすジベル鋼板の板厚の影響

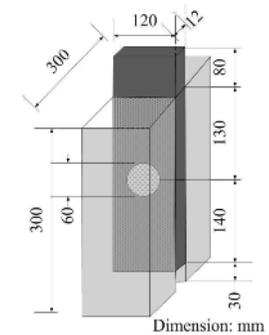


71

## せん断抵抗機構確認のための基礎実験



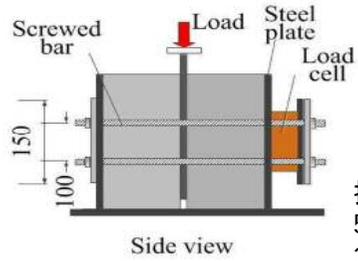
ジベル鋼板をコンクリートブロックで取り囲む試験体



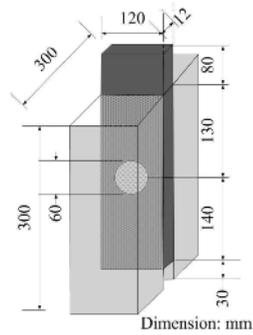
拘束試験体

72

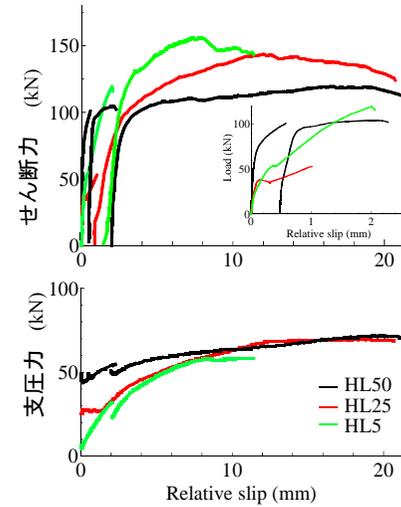
# 実験概要



拘束力  
5kN  
25kN  
50kN



拘束試験体



- せん断破壊が生じた後もずれ変位の増加に伴ってせん断力が増加する。
- 支圧力の増加が大きいほど、せん断力の増加も大きい。

HL5 2mm 片面分離  
HL25 1mm 片面分離  
HL50 0.5mm 分離せず  
2mm 分離

## せん断破壊面の状況



HL5 2mm

HL5 10mm



## せん断破壊面の状況

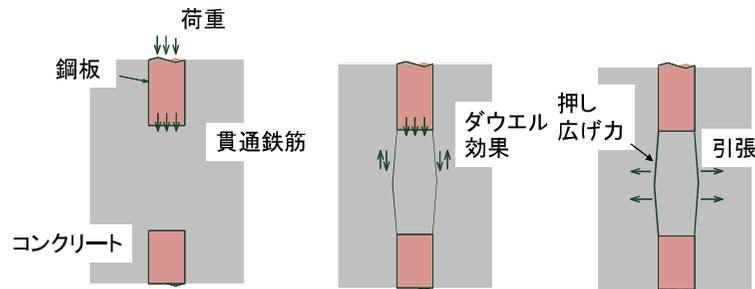


HL25 1mm  
側方



HL25 21mm  
長手方向

# せん断抵抗メカニズム(貫通鉄筋有り)



- ジベル鋼板から孔内コンクリートに力が伝達
- ジベル孔部分のせん断破壊に伴って貫通鉄筋が曲げて抵抗(ダウエル効果)
- 押し広げ力に伴って貫通鉄筋に引張が作用

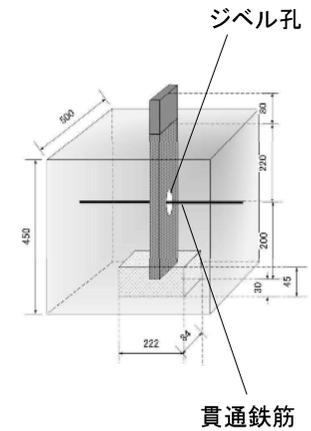
# 貫通鉄筋有りの実験

ジベル孔径の影響

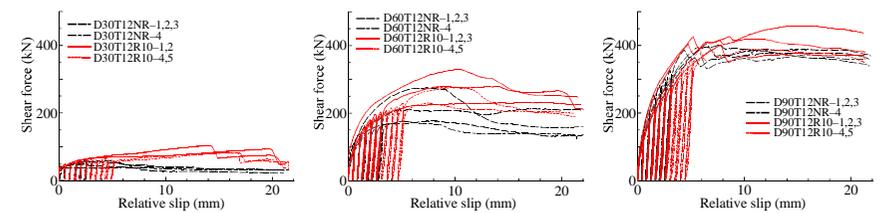
試験体名	孔径 (mm)	貫通鉄筋径 (mm)	試験体数
D30T12R10	30	10	5
D60T12R10	60	10	5
D90T12R10	90	10	5

貫通鉄筋径の影響

試験体名	孔径 (mm)	貫通鉄筋径 (mm)	試験体数
D60T12R10	60	10	2
D60T12R13	60	13	2
D60T12R16	60	16	2



# 貫通鉄筋のひずみ計測

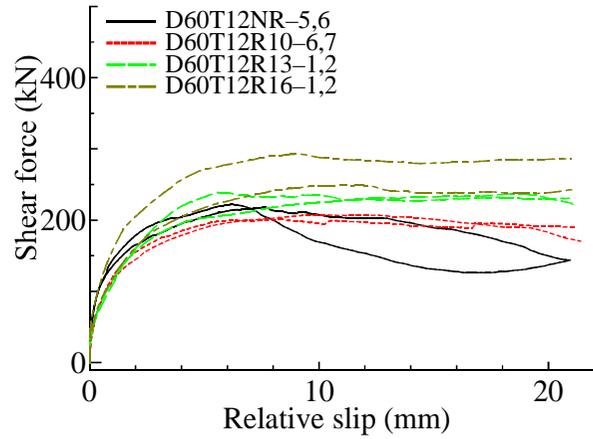


径30mm  
貫通鉄筋径10mm

径60mm  
貫通鉄筋径10mm

径90mm  
貫通鉄筋径10mm

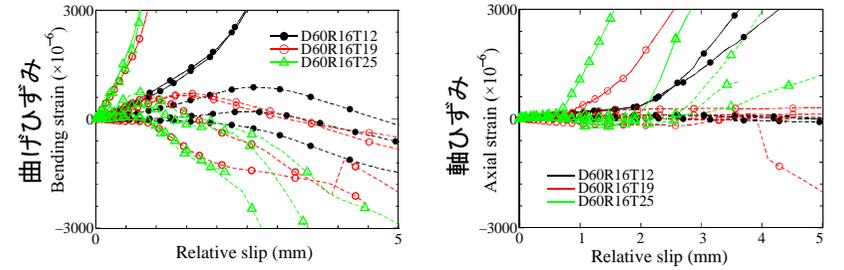
せん断カーズれ変位関係(ジベル孔径の影響)



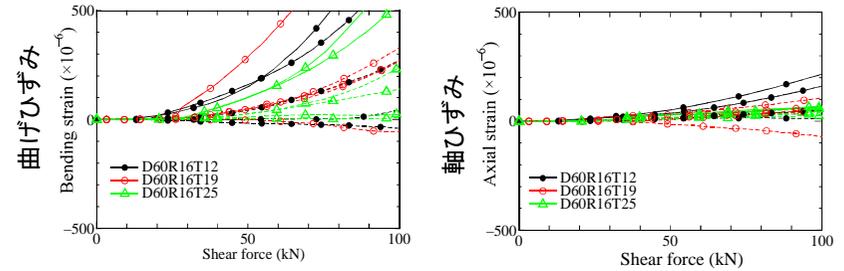
せん断力-ずれ変位関係(貫通鉄筋径の影響)

81

実線:中央, 点線:± 20mm位置

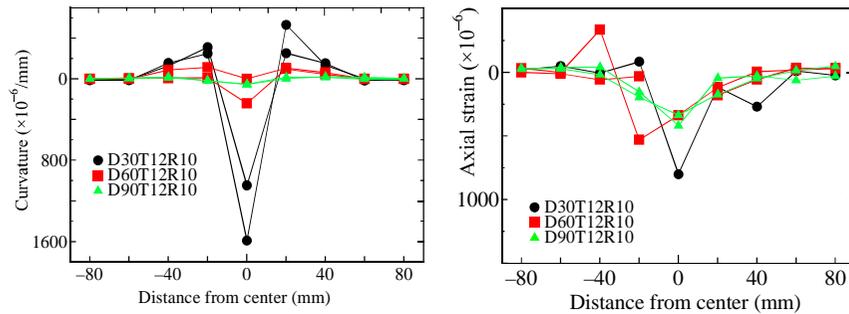


曲げひずみ・軸ひずみ-ずれ変位関係



曲げひずみ・軸ひずみ-せん断力関係

82

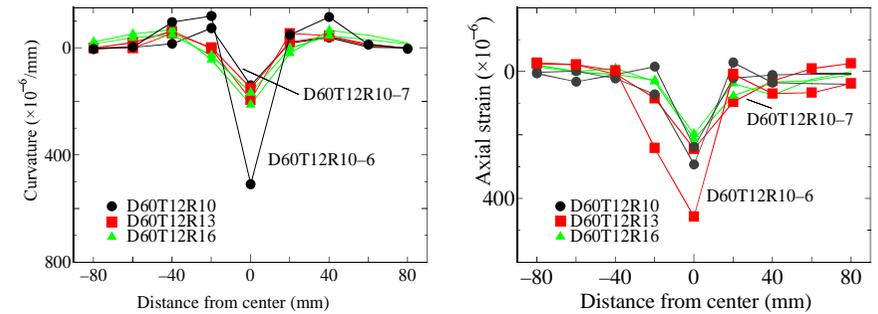


曲率分布

軸ひずみ分布

ずれ変位1mm時の曲率および軸ひずみ分布  
(ジベル孔径の影響)

83

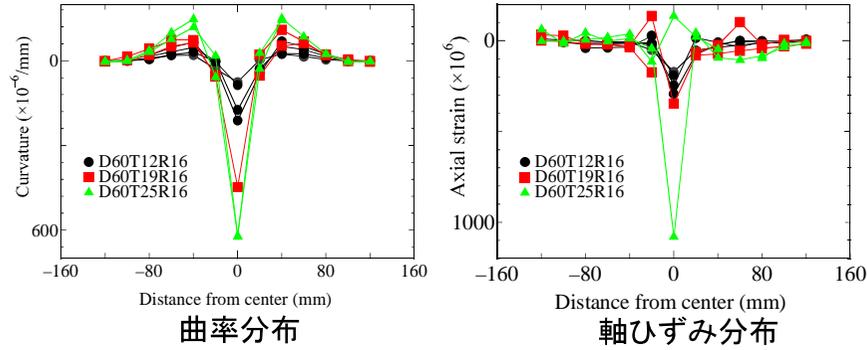


曲率分布

軸ひずみ分布

ずれ変位1mm時の曲率および軸ひずみ分布  
(貫通鉄筋径の影響)

84



ずれ変位1mm時の曲率および軸ひずみ分布  
(ジベル鋼板厚の影響)

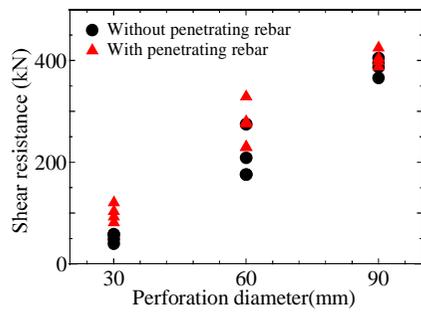


D30T12R10  
貫通鉄筋が孔内を移動

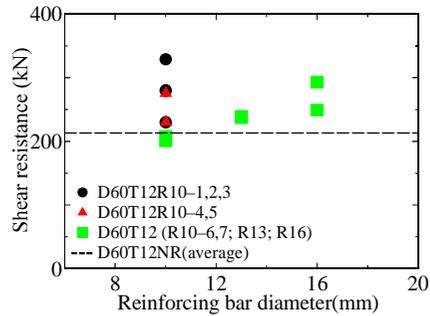


D60T12R10

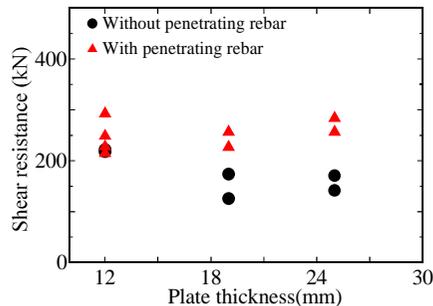
実験終了後の試験体のジベル孔せん断破壊面の状況



ジベル孔径とせん断耐力の関係



貫通鉄筋径とせん断耐力の関係



ジベル鋼板厚とせん断耐力の関係

### せん断耐力評価式の適用性 (貫通鉄筋無し)

本研究でのせん断耐力評価式

複合示方書式

$$Q_u = 0.044 A f_c^{0.65} A_s^{0.43}$$

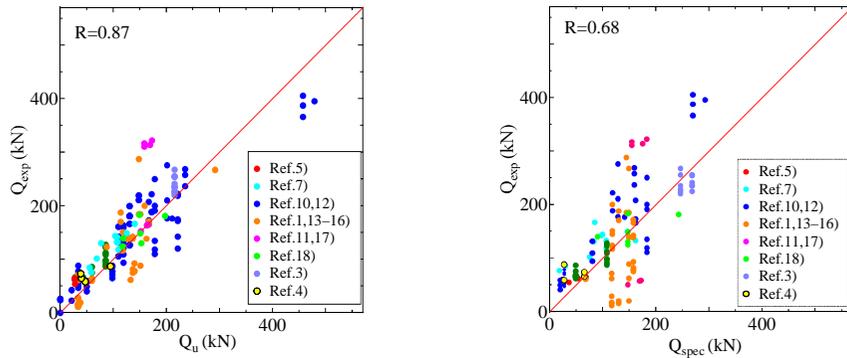
$$V_{psud} = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b$$

- $Q_u$ : せん断耐力 (N)
- $A$ : ジベル孔面積 (mm<sup>2</sup>)
- $f_c'$ : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_s$ : コンクリートブロック側面面積

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{t}{d}\right)^{1/2} f_{cd}'$$

- $d$ : ジベル孔径
- $f_{cd}'$ : コンクリートの設計圧縮強度
- $\phi$ : 貫通鉄筋径
- $t$ : 鋼板の板厚
- $\gamma_b$  は部材係数

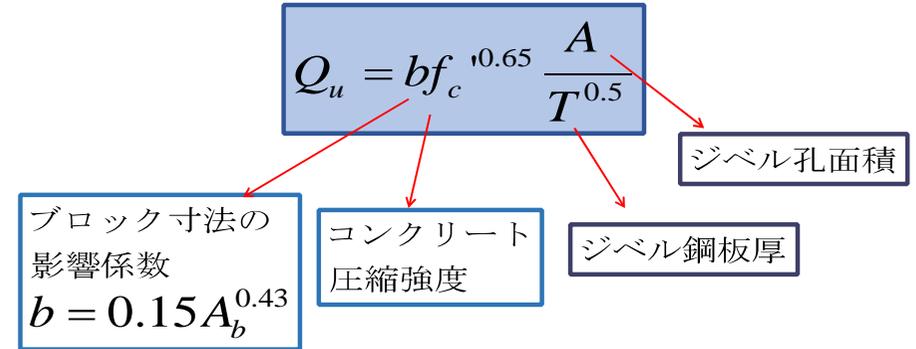
## せん断耐力評価式の適用性



本研究での評価式と実験値の比較 複合示方書式と実験値の比較

Ref.5)保坂ら, Ref.7)古内ら, Ref.10,12)著者ら, Ref.13-16)藤井ら,  
Ref.11,17)西海ら, Ref.18)平ら, Ref.3)明橋ら, Ref.4)美島ら

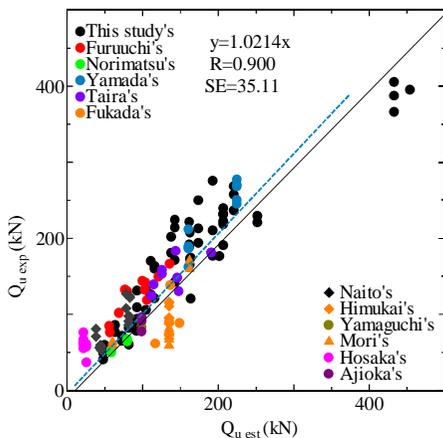
## 貫通鉄筋無しの場合のせん断耐力評価式



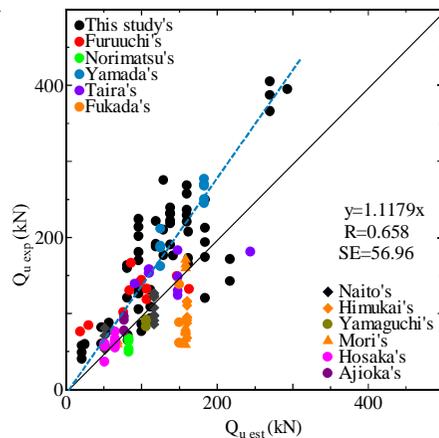
- ジベル孔面積, コンクリート圧縮強度, 試験体の大きさが大きいほど, せん断耐力は大きくなる.
- ジベル鋼板が厚いほど, せん断耐力は小さくなる.

## 既往研究に比較

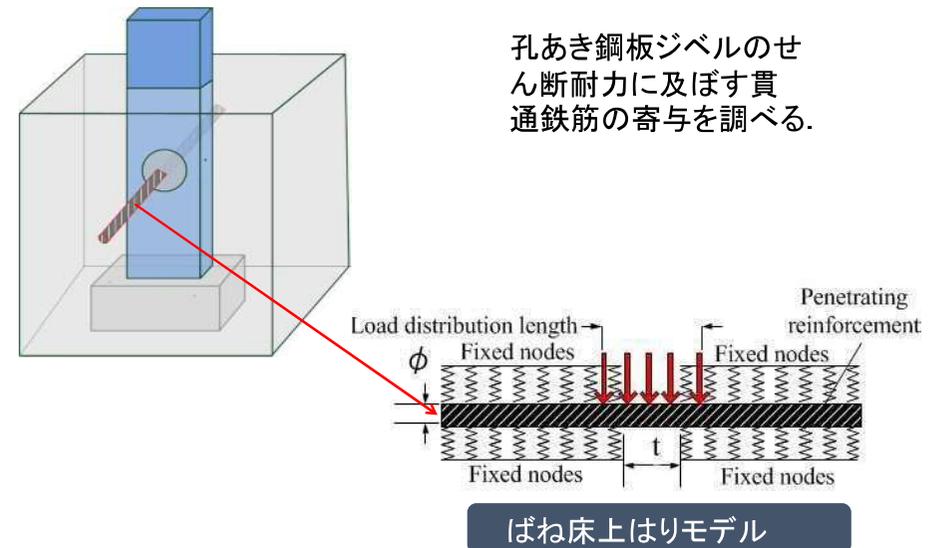
### 本研究の式



### 複合示方書の式



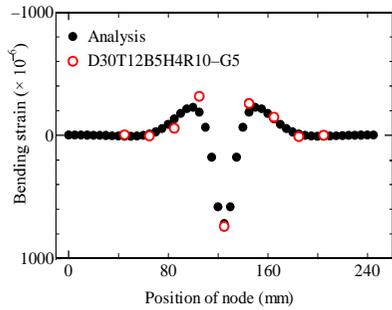
## 貫通鉄筋の曲げ変形に関する数値解析



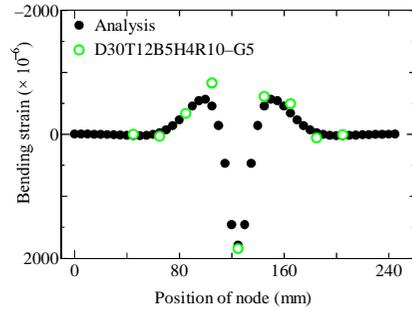
孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に及ぼす貫通鉄筋の寄与を調べる.

# 貫通鉄筋の曲げひずみ分布

例:ジベル孔径30mm, 貫通鉄筋径10mm, 板厚12mm



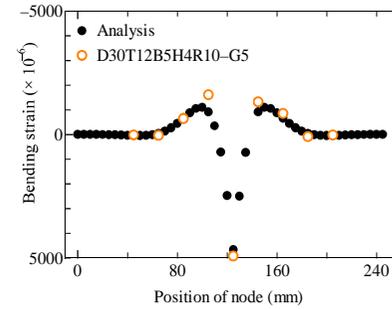
1000  $\mu$  以下



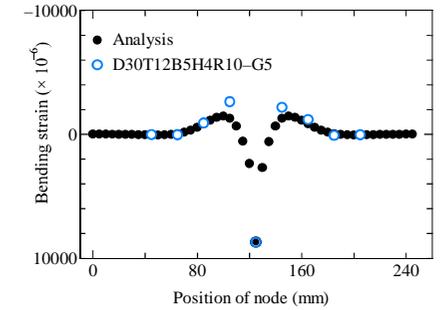
2000  $\mu$  以下

# 貫通鉄筋の曲げひずみ分布

例:ジベル孔径30mm, 貫通鉄筋径10mm, 板厚12mm



5000  $\mu$  以下

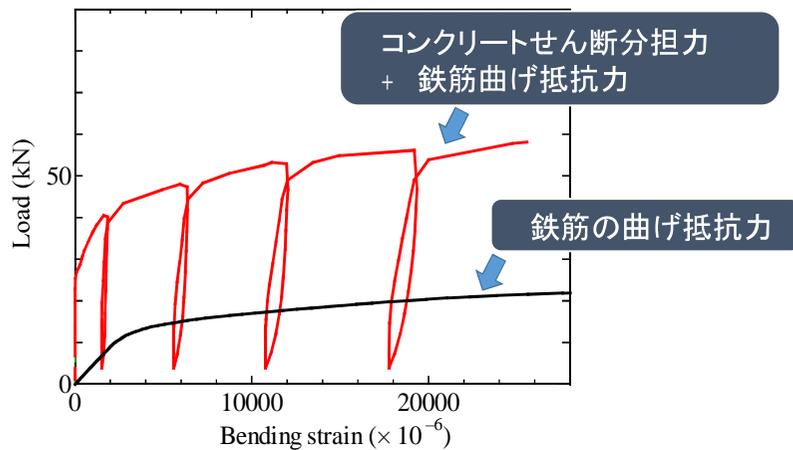


10000  $\mu$  以下

この解析は貫通鉄筋の曲げ変形が定性的に表せた。

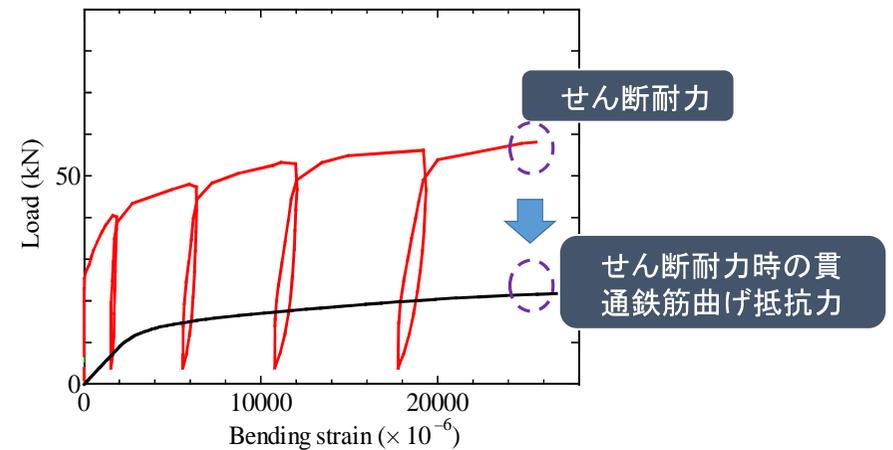
# 解析結果

例:ジベル孔径30mm, 貫通鉄筋径10mm, 板厚12mm



# 解析結果

例:ジベル孔径30mm, 貫通鉄筋径10mm, 板厚12mm



- 解析結果によると、ジベル孔径，貫通鉄筋径，ジベル鋼板厚が大きいほど貫通鉄筋の曲げ抵抗力が大きい。
- 解析結果に対して回帰分析を行い，貫通鉄筋の曲げ抵抗力の推定式：

$$Q_s = 0.84\phi f_{st} D^{0.1} T^{0.8}$$

$D$ : ジベル孔径  
 $f_{st}$ : 鉄筋の降伏強度  
 $\phi$ : 貫通鉄筋径  
 $T$ : 鋼板の板厚

97

貫通鉄筋有りの場合のせん断耐力評価式

$$Q_u = bf_c^{10.65} \frac{\alpha(A - A_{st})}{T^{0.5}} + 0.84\phi f_{st} D^{0.1} T^{0.8}$$

相対作用係数

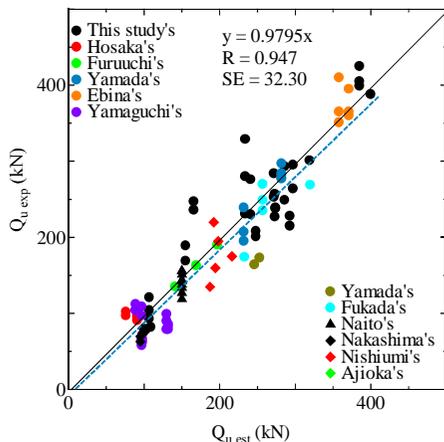
$$\alpha = 6.9\phi^{0.4} D^{-0.7}$$

$D$ : ジベル孔径  
 $f_{st}$ : 鉄筋の降伏強度  
 $\phi$ : 貫通鉄筋径  
 $T$ : 鋼板の板厚  
 $A$ : ジベル孔面積  
 $A_{st}$ : 貫通鉄筋面積

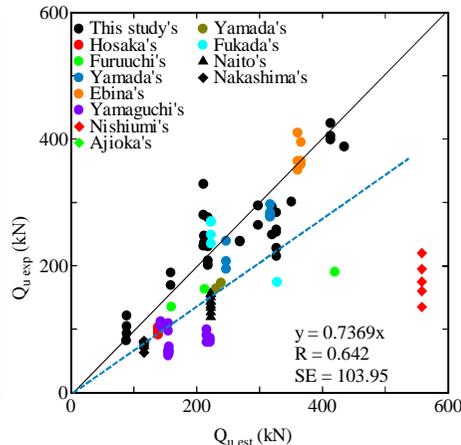
98

## 既往研究に比較

本研究の式



複合示方書の式



99

## まとめ

### 貫通鉄筋の無い場合

- せん断耐力には，ジベル孔径，コンクリートの圧縮強度に加えて，ジベル孔周辺のコンクリートブロックの大きさが影響する。
- 上記の影響因子を考慮したせん断耐力評価式を構築した。
- ジベル鋼板が厚くなるとともにせん断耐力は低下する傾向が認められ，複合示方書式と異なる傾向が認められた。
- せん断抵抗機構に着目した基礎実験から，ジベル孔部分のせん断面のひび割れ発生，骨材の噛み合わせ状態，拘束力の作用を確認した。

100

## まとめ

### 貫通鉄筋の有る場合

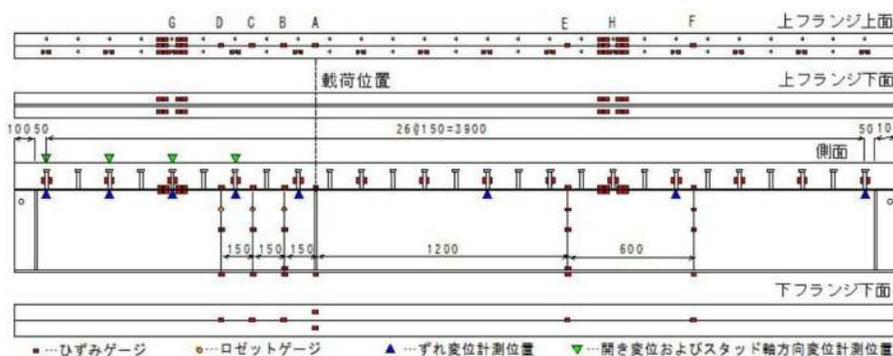
- ジベル孔径と貫通鉄筋径の相対関係、ジベル鋼板厚の変化が孔あき鋼板ジベルのせん断カーズれ変位関係、せん断耐力および貫通鉄筋のひずみ挙動に及ぼす影響を確認した。
- せん断力の増加に伴って、まず、ジベル孔部分の貫通鉄筋の曲げひずみが増加し、その後、同位置の軸ひずみが増加することを確認した。
- 推定したせん断抵抗メカニズムに基づいて、せん断耐力評価式を構築した。この式は既往研究の式に比べて、適応性が高い。

101

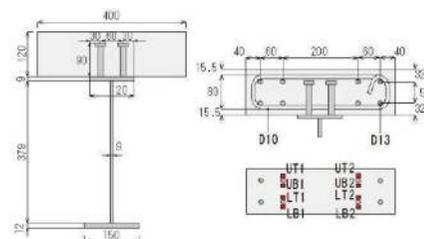
## 鋼コンクリート複合構造の模型試験と対応する要素試験の意味

- 複合構造物中のずれ止めの挙動と要素試験体中のずれ止めの挙動が対応しているのかはあまり明確ではなく、両者の対応を確認することも課題とされている。
- そこで、合成はりおよび対応する押抜き試験の実験内容や結果を詳細に示し、また、ずれ止めに着目して合成はり試験と押抜き試験の対応関係を検討する。

102



合成はり試験体および断面形状

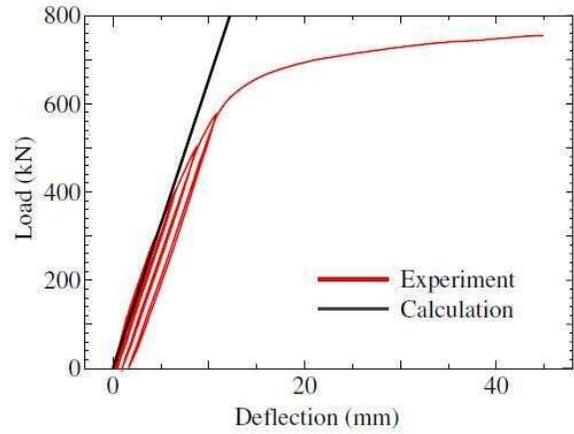


103



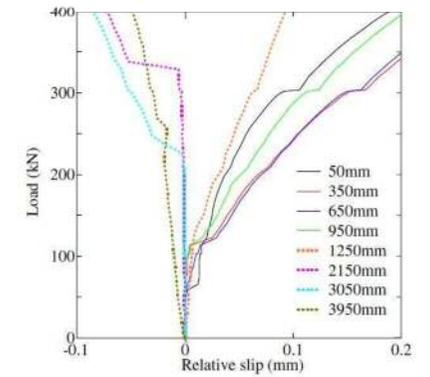
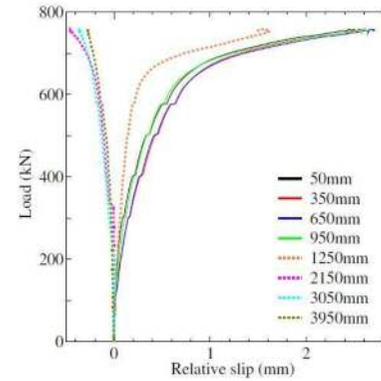
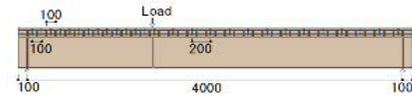
合成はりの実験状況

104



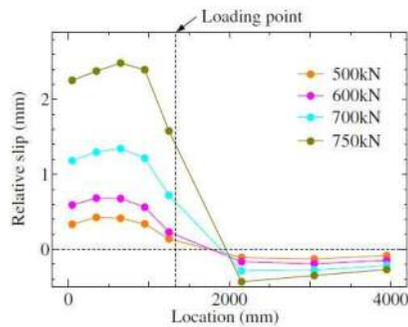
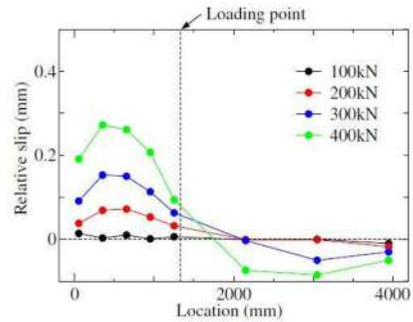
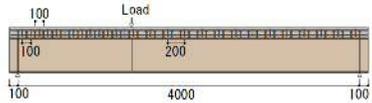
荷重と載荷点のたわみ関係

105



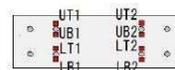
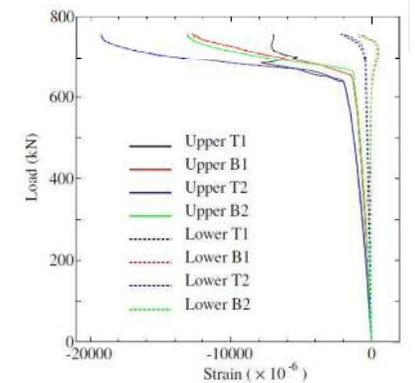
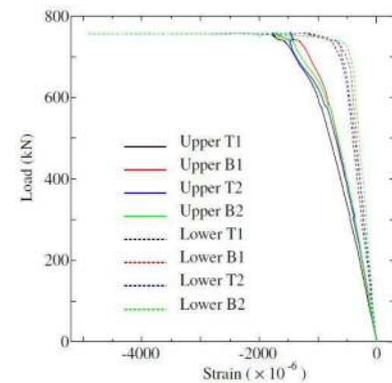
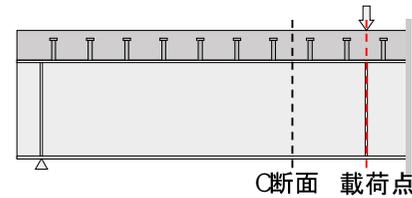
荷重—ずれ変位関係

106



橋軸方向ずれ変位分布

107

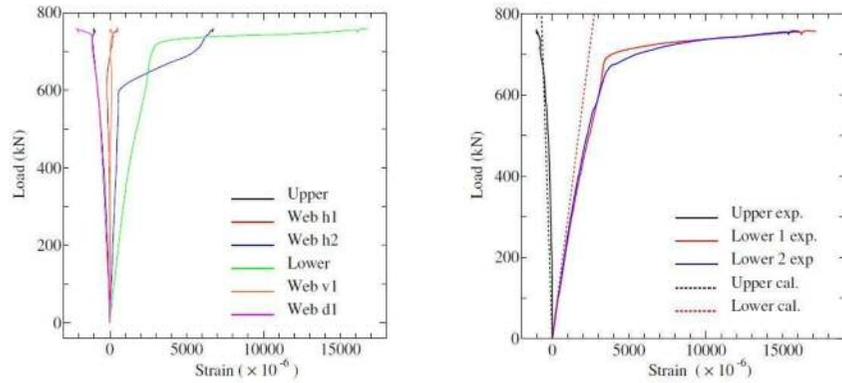
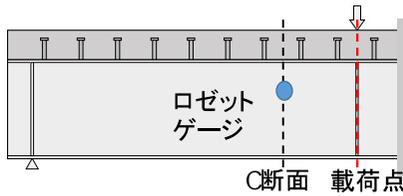


C断面

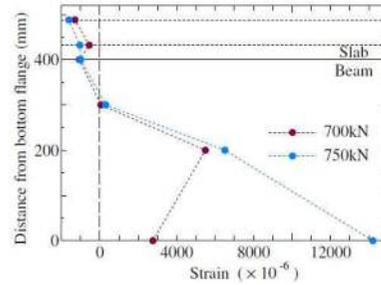
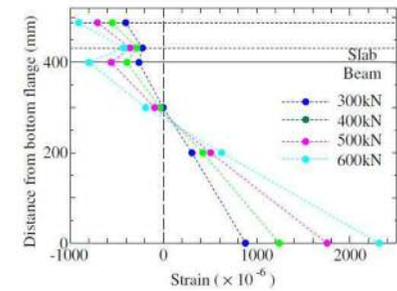
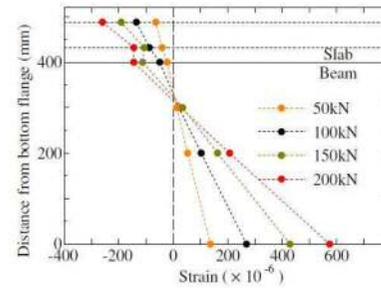
荷重—鉄筋のひずみ関係

載荷点

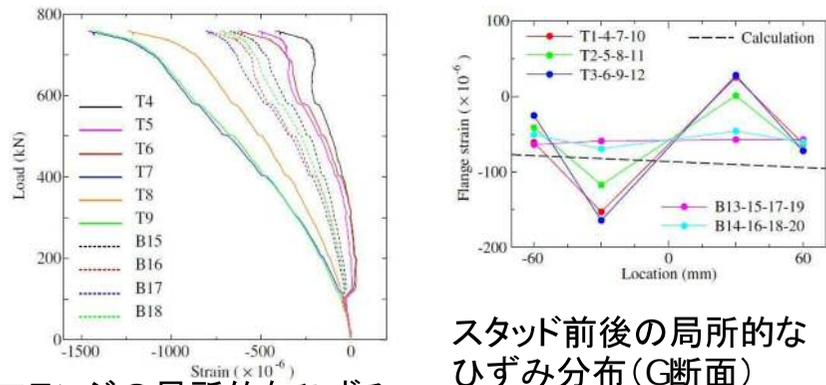
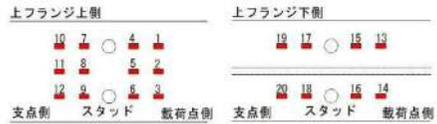
108



C断面  
荷重-鋼はりのひずみ関係

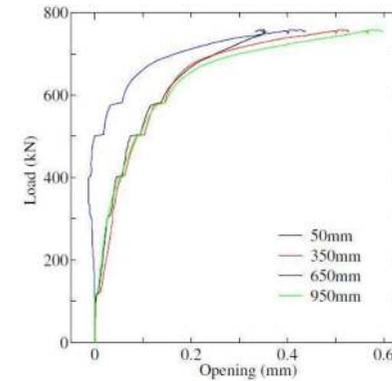


はり高方向ひずみ分布  
(C断面)

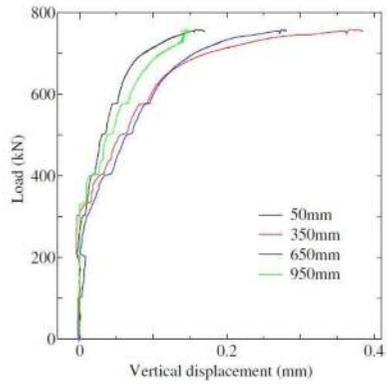


フランジの局所的なひずみ-  
荷重関係(G断面)

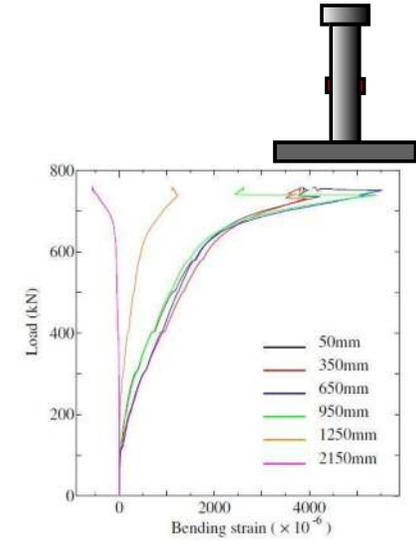
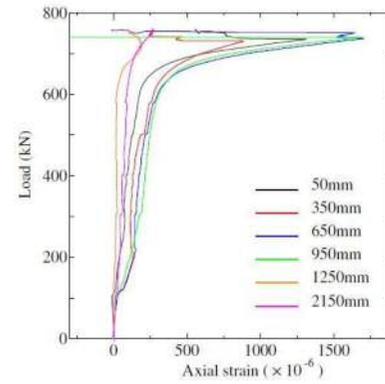
スタッド前後の局所的な  
ひずみ分布(G断面)



荷重-RC床版下面と上フランジ間の開き変位の関係

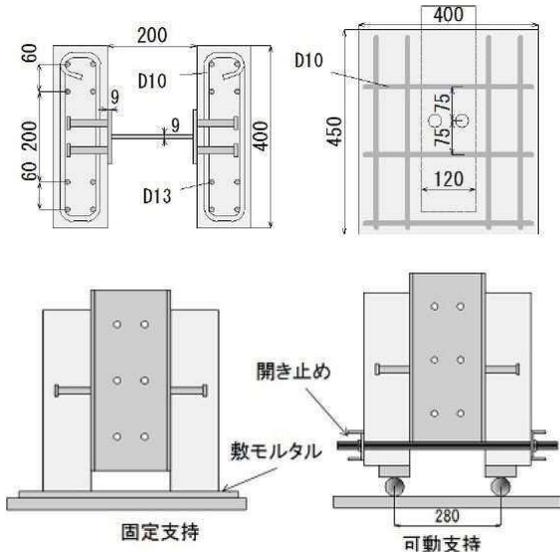


荷重とスタッドの軸方向変位の関係

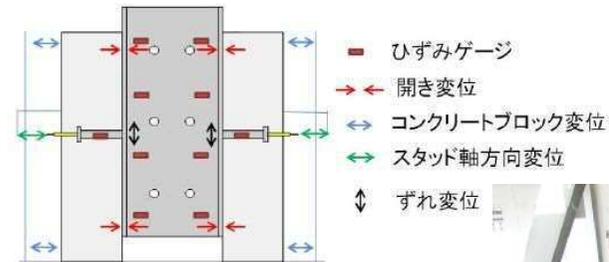


荷重とスタッドの軸ひずみの関係

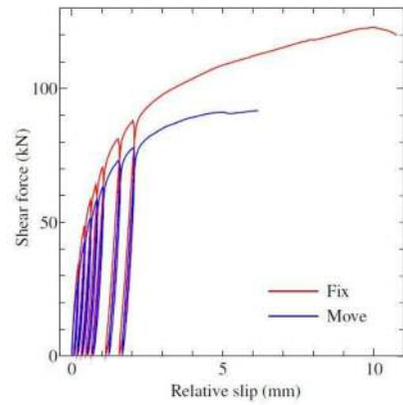
荷重とスタッドの曲げひずみの関係



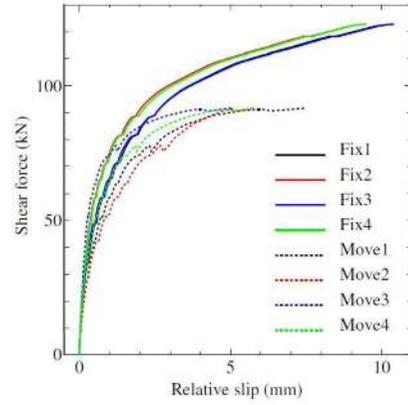
押抜き試験体の試験状況



押抜き試験における計測状況



平均値



個別

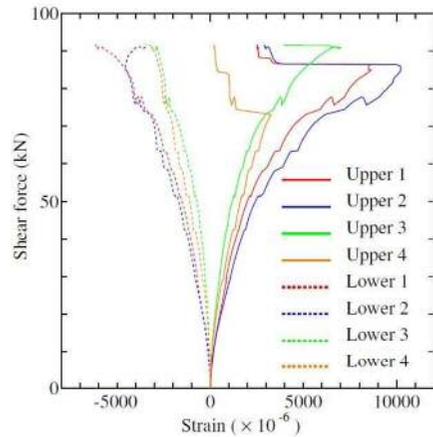
せん断力—ずれ変位関係

<せん断耐力>

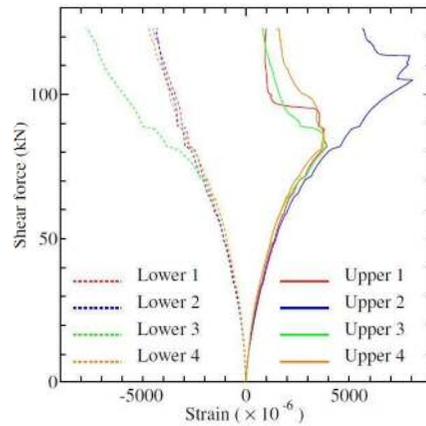
試験体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	耐力評価式		実験値 kN	実験値/ 耐力値
		式(1) kN	式(2) kN		
固定支点	36.1	104.4	93.4	123	1.32
可動支点	36.1	104.4	93.4	91	0.97

$$V_u = 31A_s \sqrt{\frac{h_s}{d_s} f'_c} + 10000 \quad \text{式(1)}$$

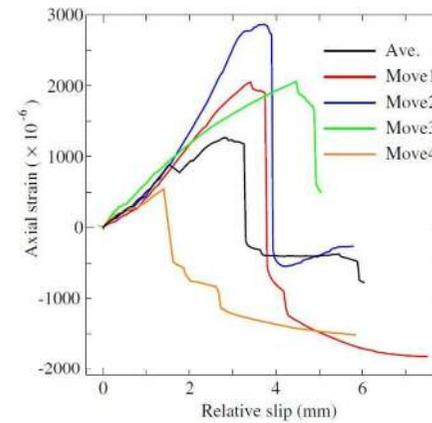
$$V_u = A_s f_{su} \quad \text{式(2)}$$



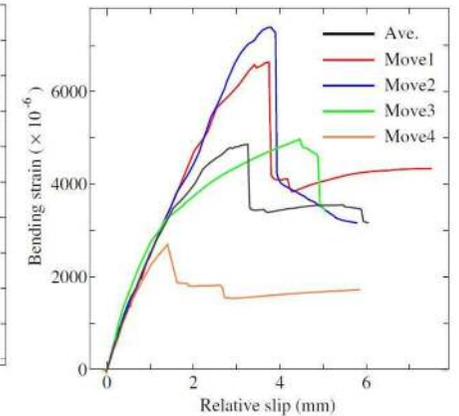
せん断力—スタッドひずみ関係(可動支持)



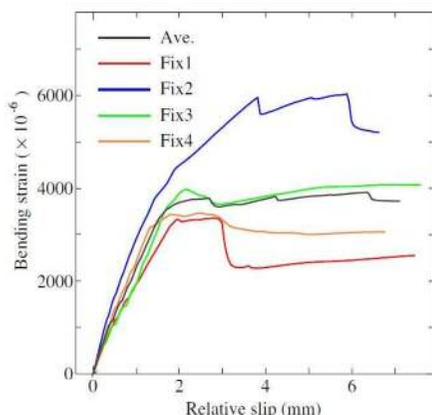
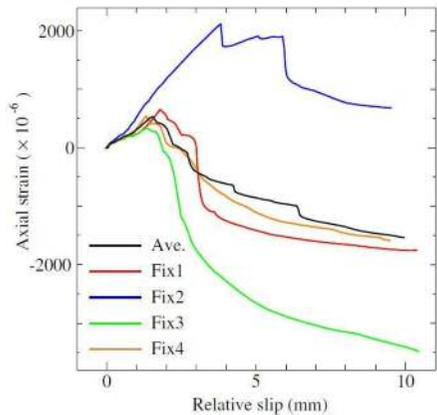
せん断力—スタッドひずみ関係(固定支持)



ずれ変位—軸ひずみ関係(可動支持)

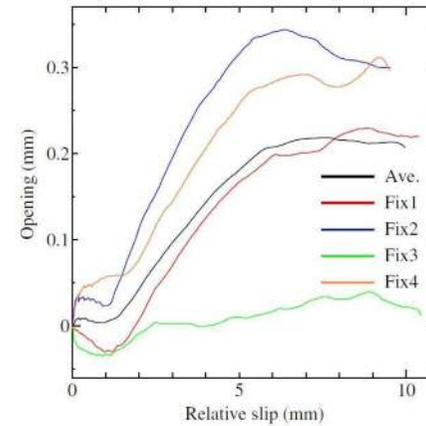
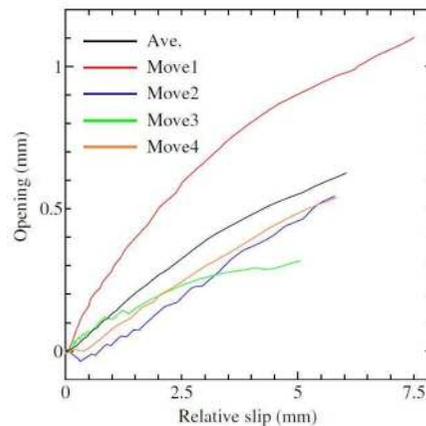


ずれ変位—曲げひずみ関係(可動支持)



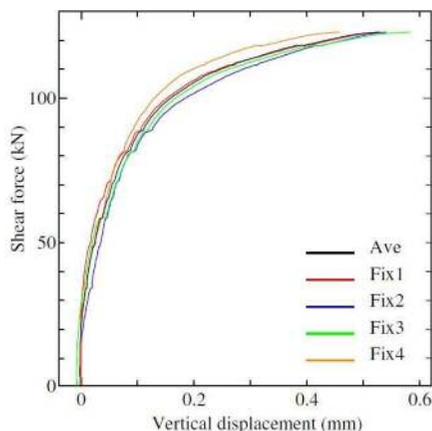
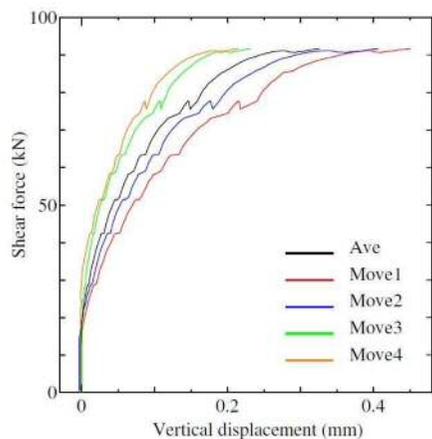
ずれ変位—軸ひずみ関係  
(固定支持)

ずれ変位—曲げひずみ関係  
(固定支持)



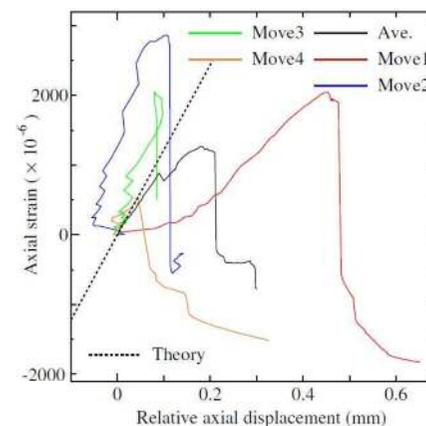
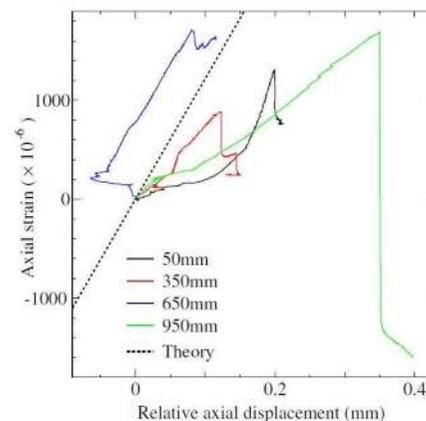
ずれ変位—開き変位関係  
(可動支持)

ずれ変位—開き変位関係  
(固定支持)



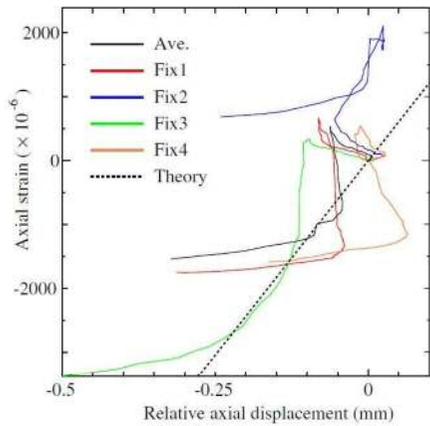
せん断カースタッド軸方向変位関係(可動支持)

せん断カースタッド軸方向変位関係(固定支持)

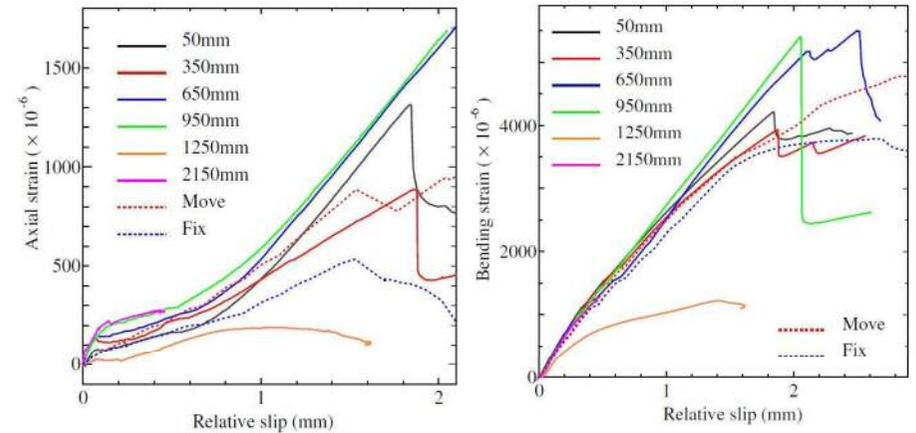


スタッド軸ひずみ—相対軸方向変位関係(はり試験)

スタッド軸ひずみ—相対軸方向変位関係(可動支持)



スタッド軸ひずみー相対軸方向変位関係(固定支持)



ずれ変位ー軸ひずみ関係

ずれ変位ー曲げひずみ関係

## まとめ

- 合成はり試験体中のスタッド位置の鋼上フランジとRC床版下面のずれ変位とスタッド中央高さに貼付したひずみゲージから求めた軸ひずみおよび曲げひずみの関係は、押抜き試験体中の関係とある程度のずれ変位の大きさまで対応している。しかし、スタッドに貼付したひずみゲージが高い支圧力を受けたためか、あるいは、スタッド周辺のコンクリートにひび割れが生じたためか合成はりの曲げ耐力時までの対応性は確認できなかった。
- 合成はり試験で計測したRC床版下面と鋼上フランジ間の開き変位、RC床版上面とスタッド頭部の軸方向変位は、対応する押抜き試験体での結果と大きく異なるものになった。

## おわりに

- 要素試験の目的を明確にして、計測する情報を考える。
  - 実際の構造物中のずれ止めの挙動と要素試験のずれ止めの挙動の対応を調べるための実験
  - ずれ止めのせん断力とずれ変位関係などを数値解析モデルに組み込む際に必要な情報を得るための実験
- 相対変位の計測
- 支圧力の計測