

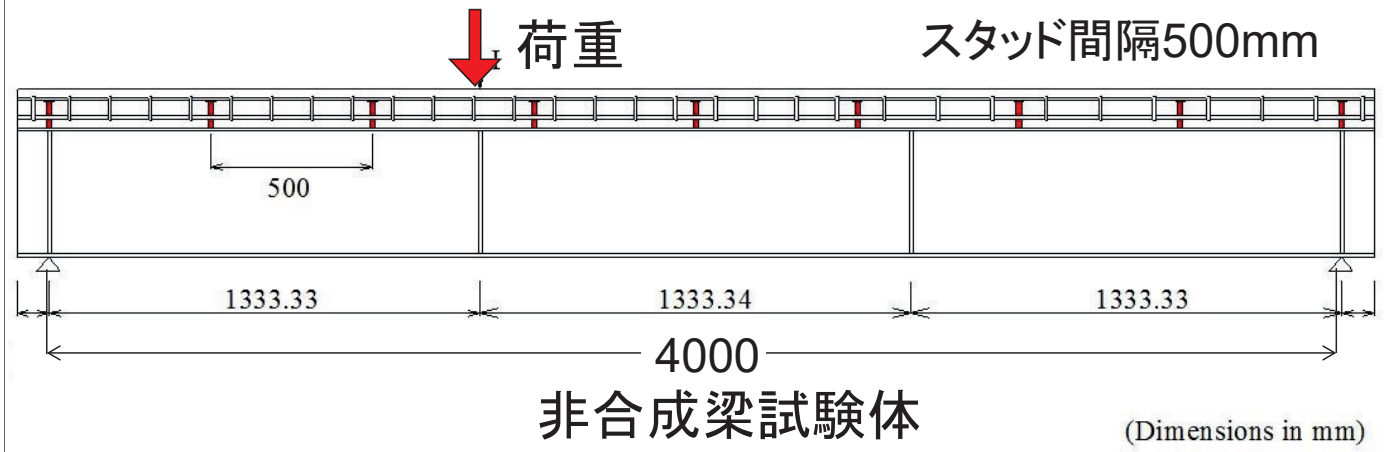
合成梁・非合成梁の載荷試験 とその解析およびずれ止めの 疲労試験

中島章典

(株式会社HRC研究所)

話題の内容

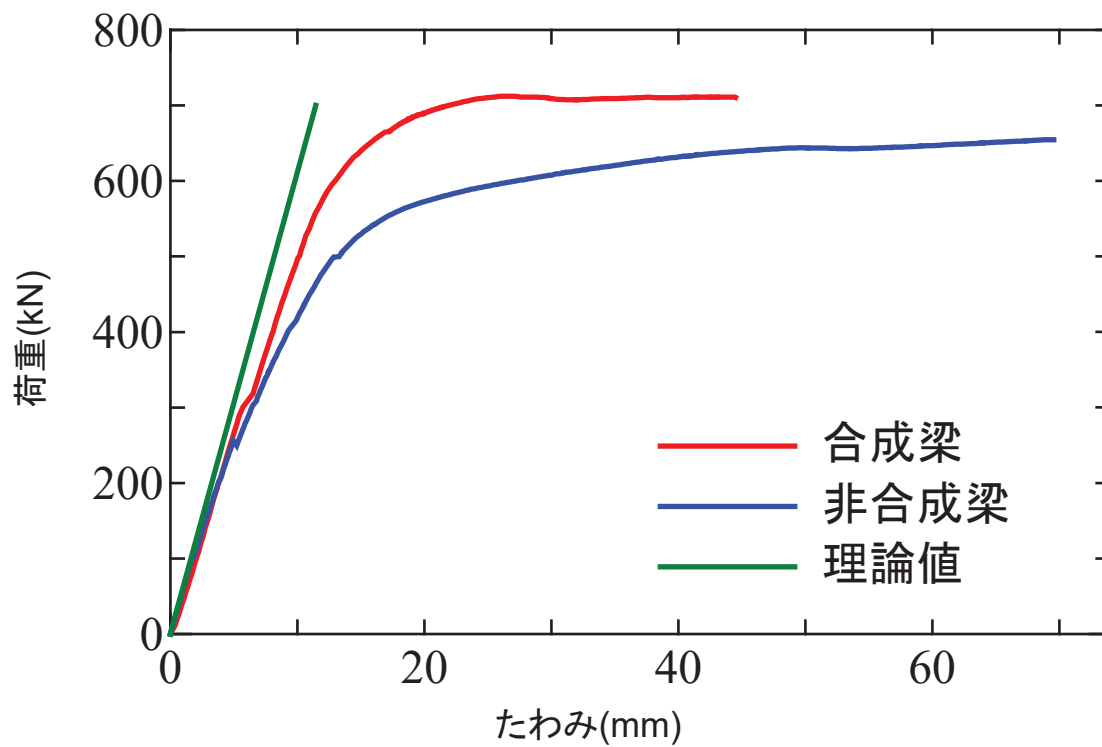
1. 合成梁・非合成梁の実験と解析
2. 連続合成梁の実験と解析
3. 押抜きおよび梁試験によるスラブ止めの水平せん断ずれ性状と疲労強度の検討
4. 両振り作用を受ける頭付きスタッドの挙動
5. パイプスタッドによるスタッド基部のひずみ確認



5



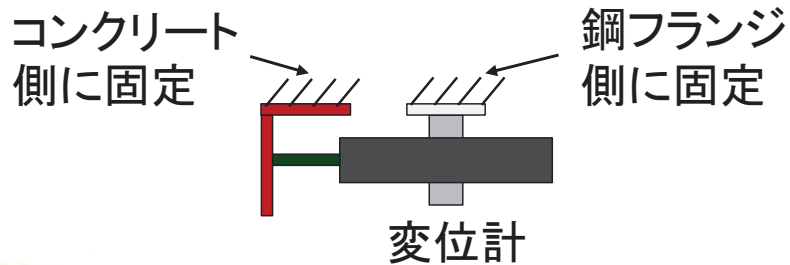
6



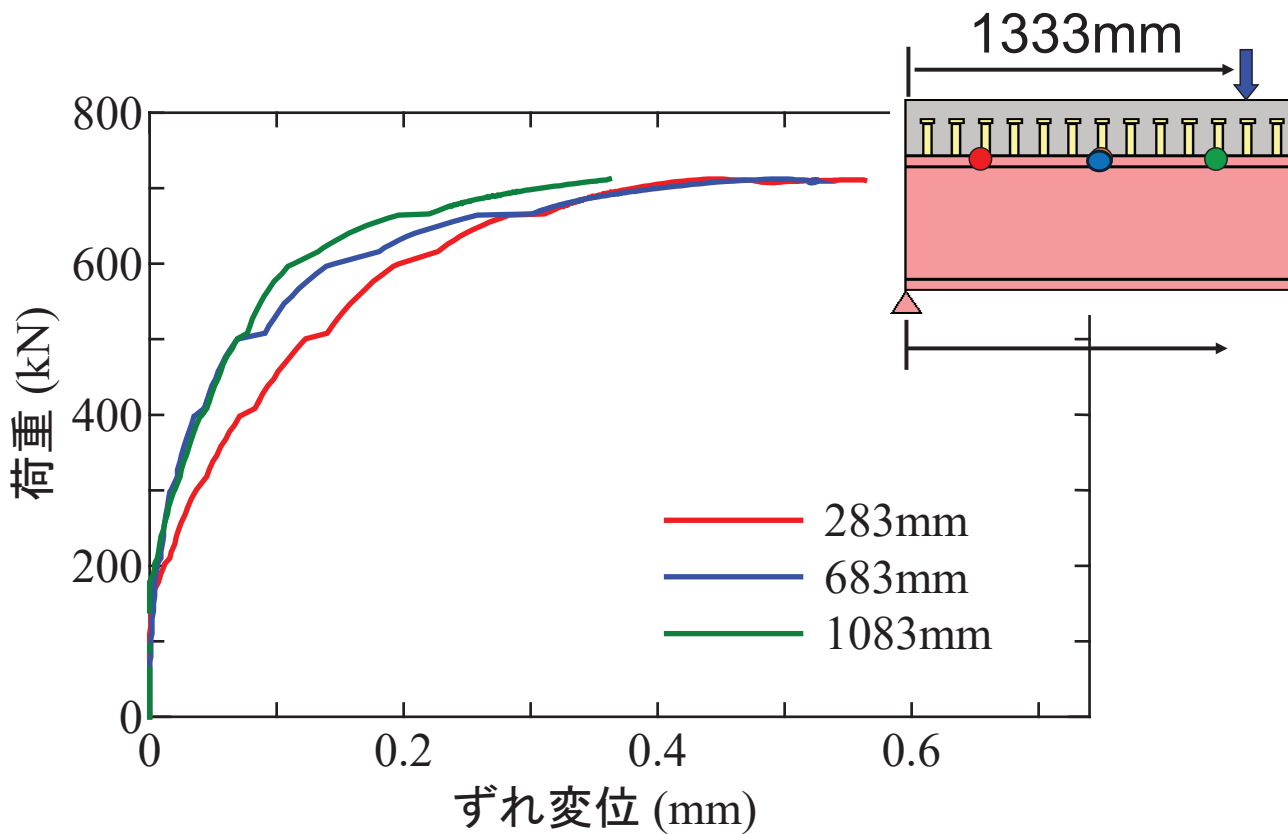
荷重と載荷点のたわみ関係



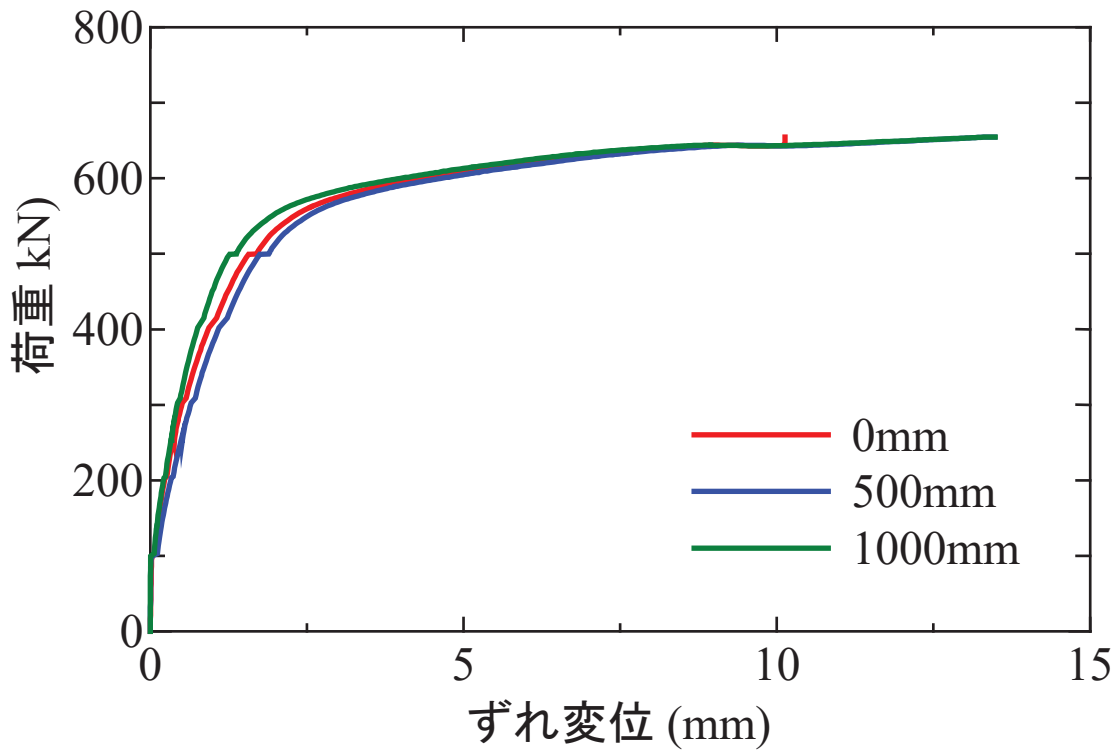
ずれ変位の計測状況



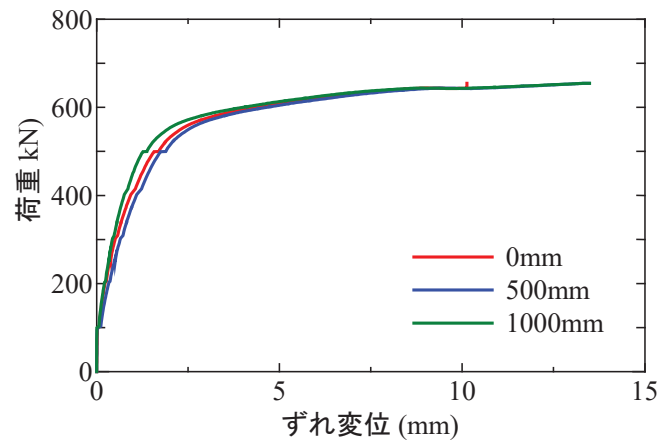
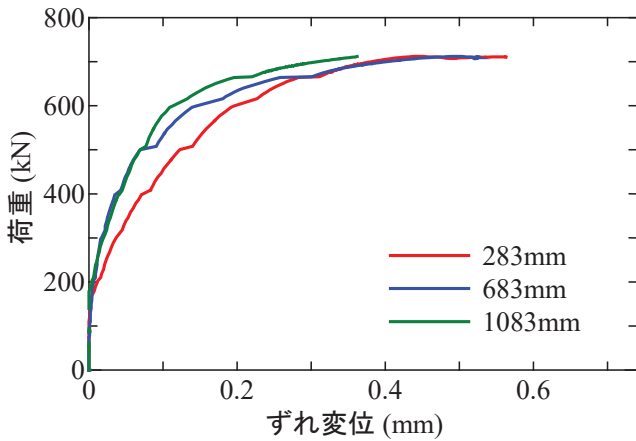
ずれ変位の計測状況



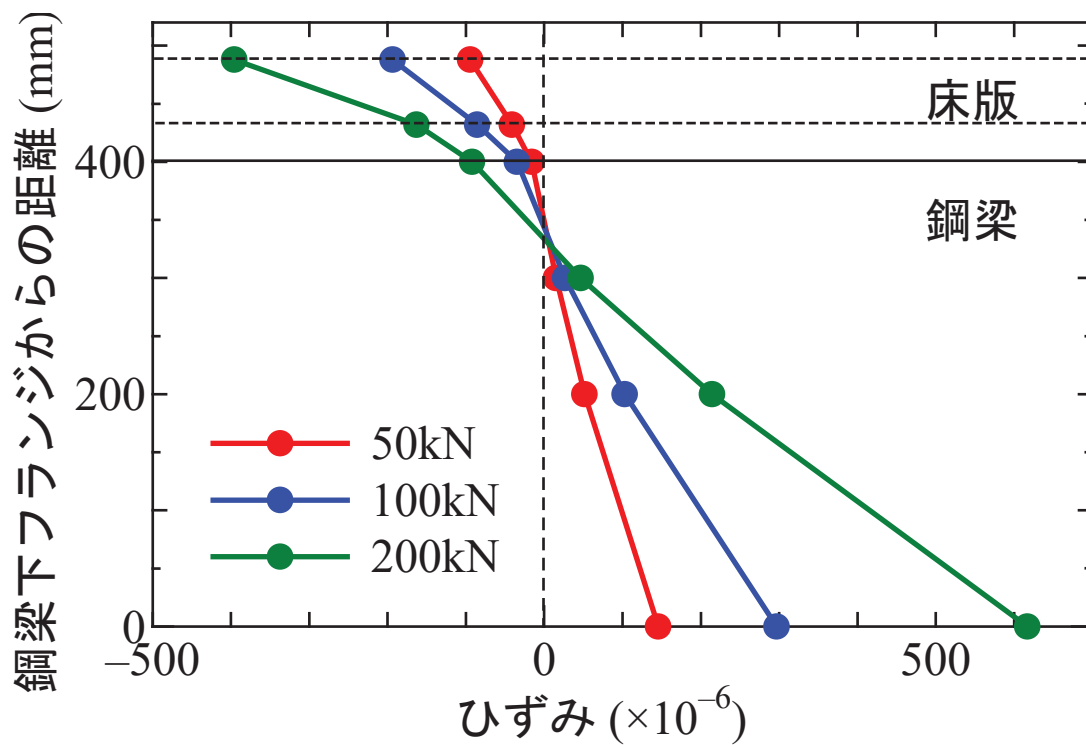
荷重とずれ変位関係(合成梁)



荷重とずれ変位関係(非合成梁)

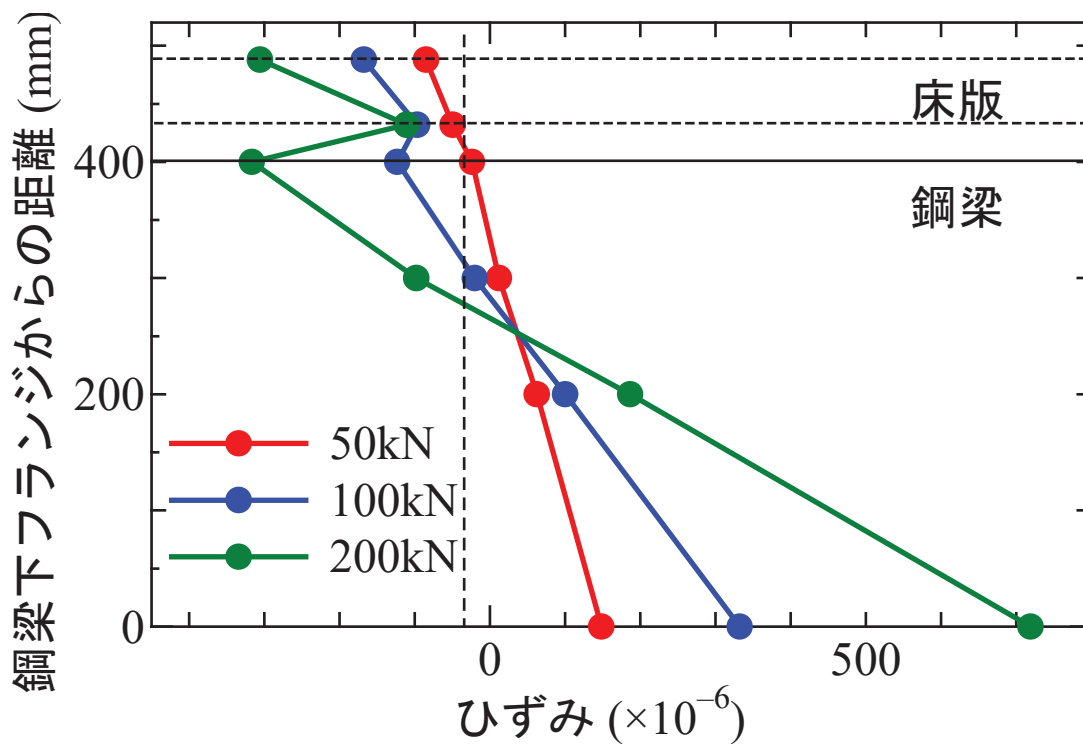


合成梁と非合成梁の荷重とずれ変位関係の比較



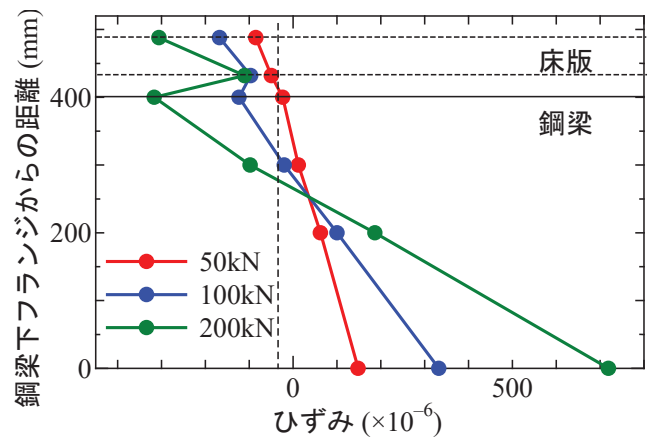
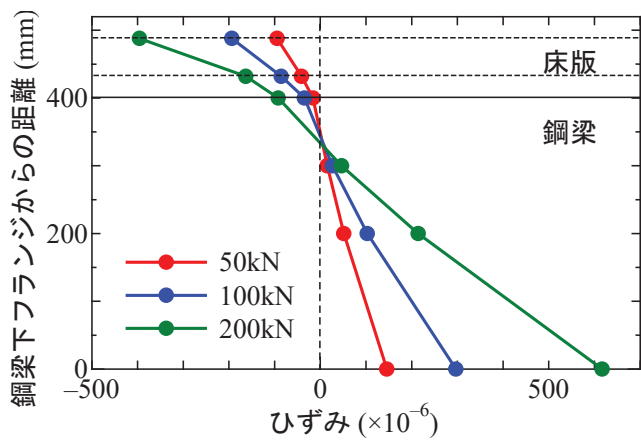
梁高方向のひずみ分布(合成梁)

13



梁高方向のひずみ分布(非合成梁)

14



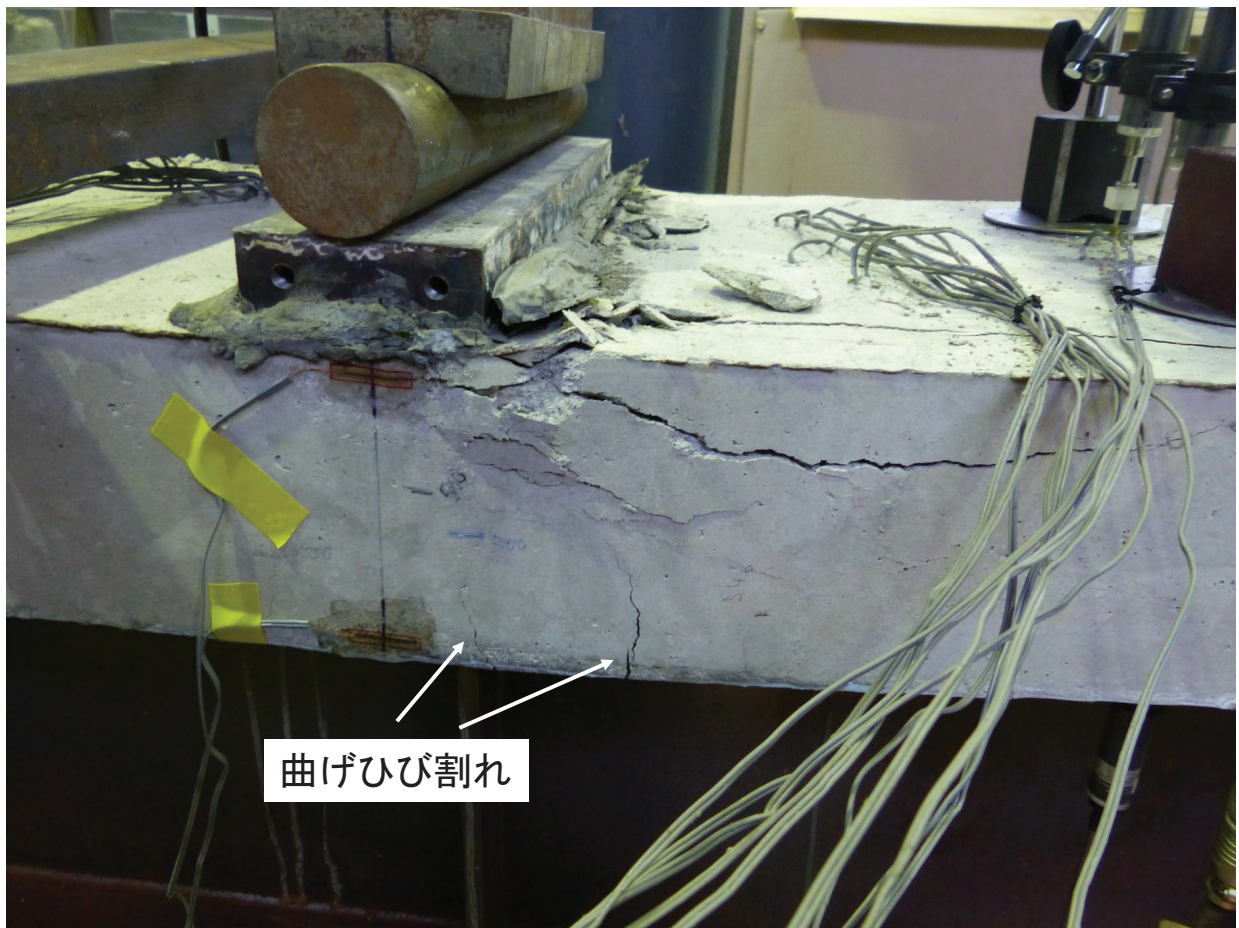
合成梁と非合成梁の梁高方向のひずみ分布の比較

15



合成梁試験体の破壊状況

16



非合成梁試験体の破壊状況(載荷点部)

17



実験終了後のスタッドの状況(非合成梁)

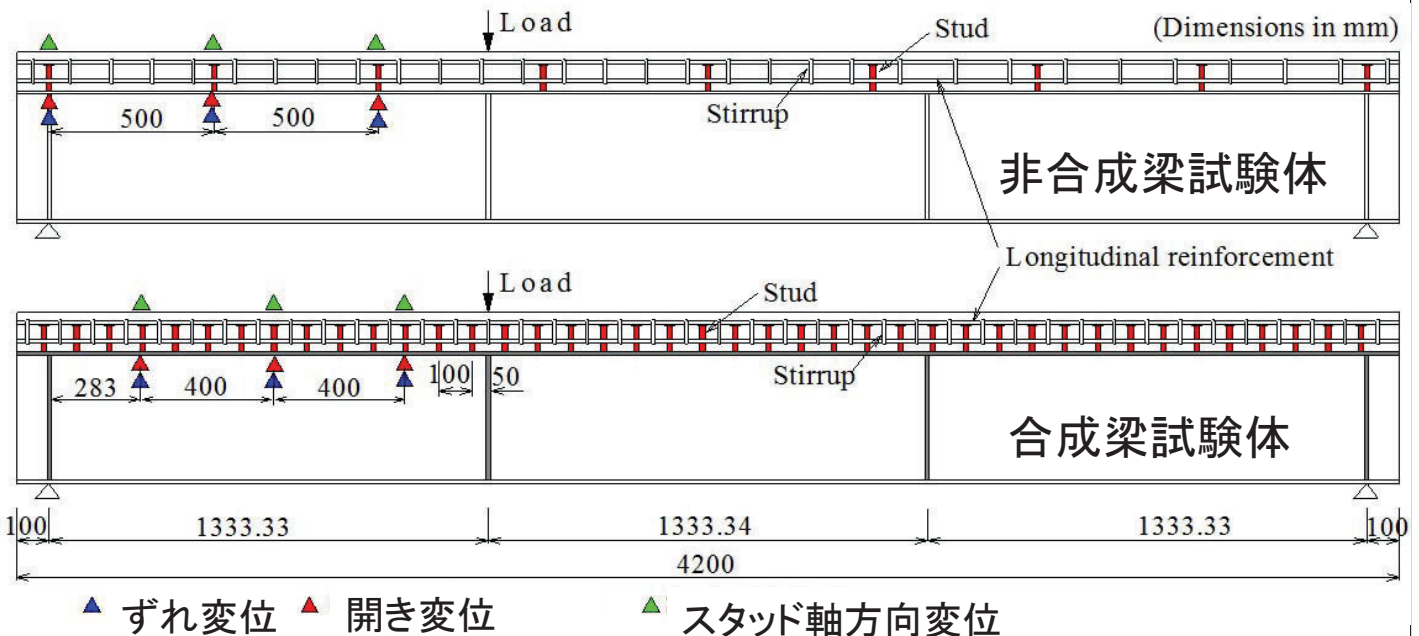
18

梁試験体中のスタッドの挙動と押抜き試験体中のスタッドの挙動の対応関係

- ずれ変位
- スタッドのひずみ
- 床版と鋼フランジの開き変位
- スタッドの軸方向変位
- スタッド前後の鋼フランジのひずみ

19

非合成・合成梁試験体の計測項目

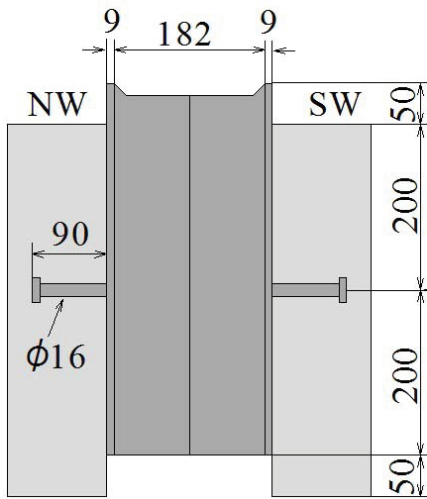


計測項目

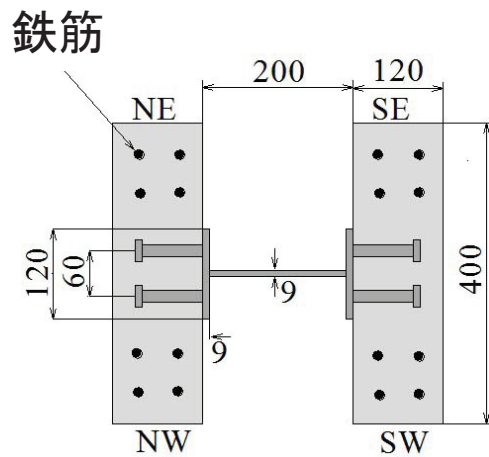
- 載荷点のたわみ, ずれ変位, 床版と鋼上フランジの開き変位, スタッドの軸方向変位
- スタッドの軸ひずみ, 鋼梁, 鉄筋のひずみ

20

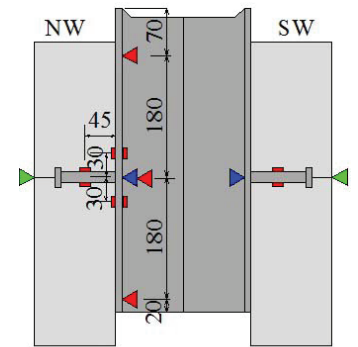
押抜き試験体



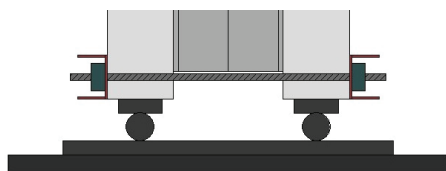
側面図



平面図



- ▲ ずれ変位
- ▲ 開き変位
- ▲ スタッド軸方向変位
- ひずみゲージ



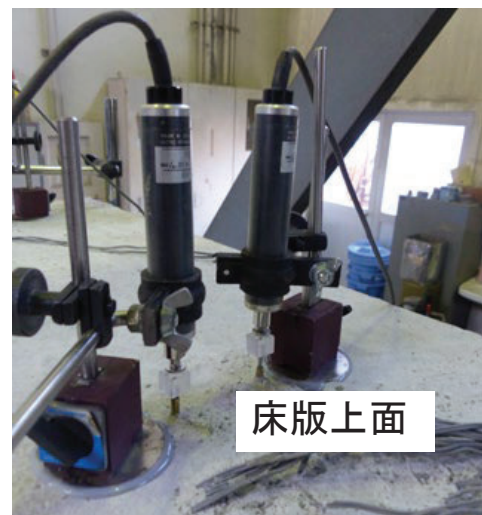
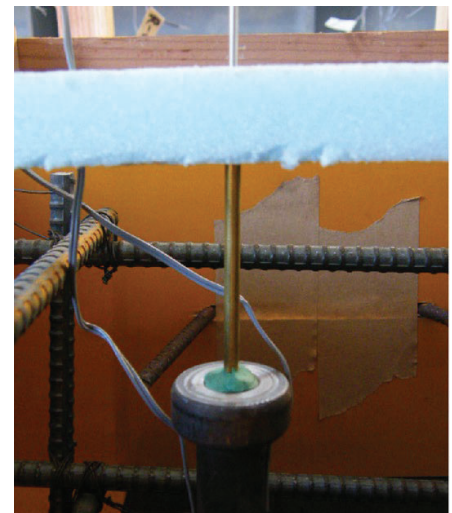
可動支持



固定支持

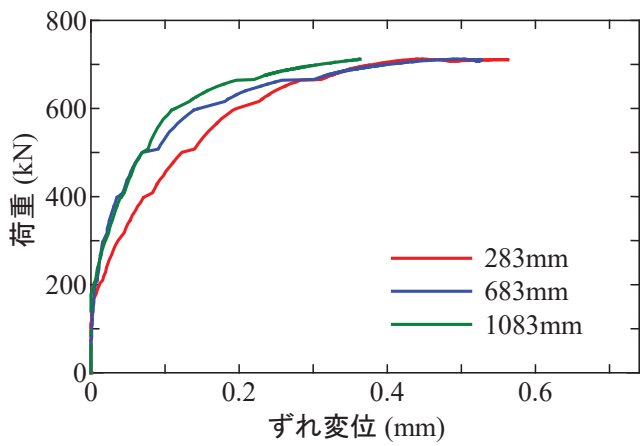


床版と鋼フランジの開き変位計測

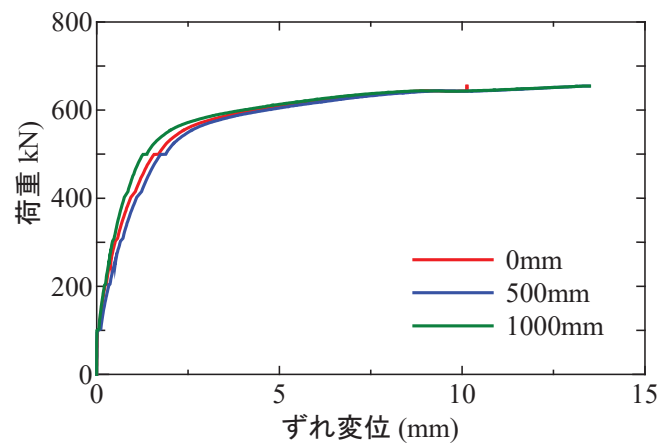


スタッド軸方向
変位計測関係

床版上面



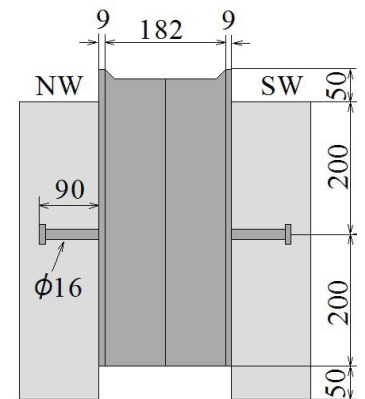
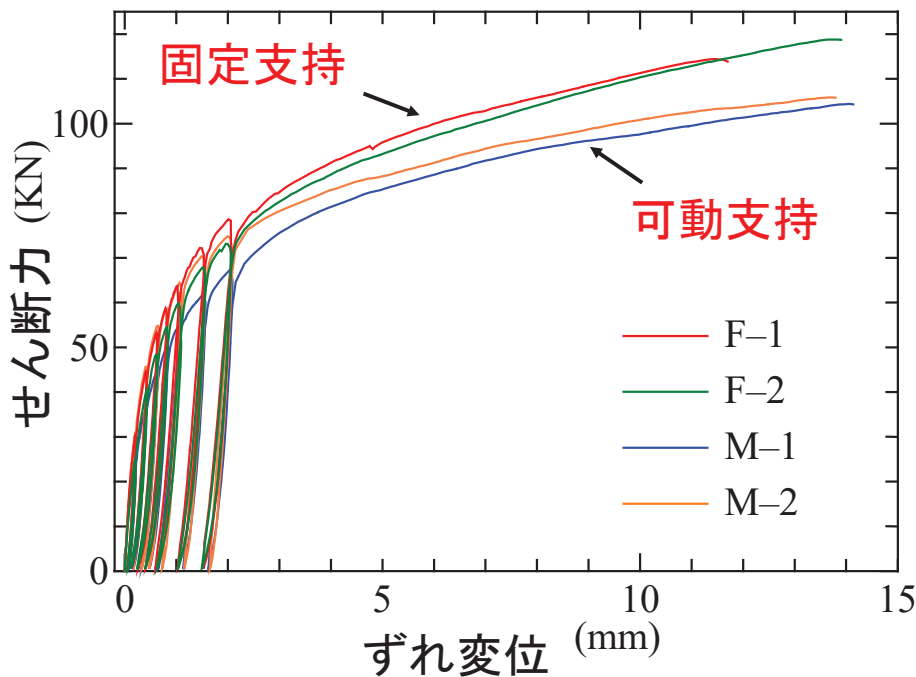
合成梁



非合成梁

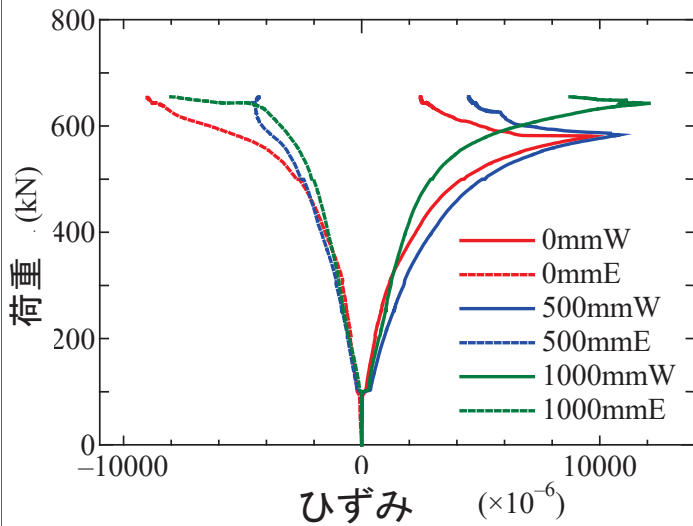
合成梁と非合成梁の荷重とずれ変位関係の比較

押抜き試験体のせん断力-ずれ変位関係



- 固定支持よりも可動支持の場合のほうがせん断耐力は小さい。

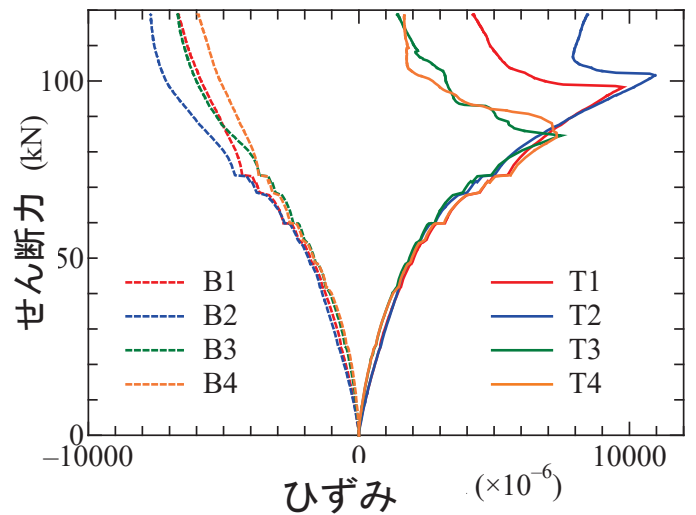
スタッドのひずみ挙動



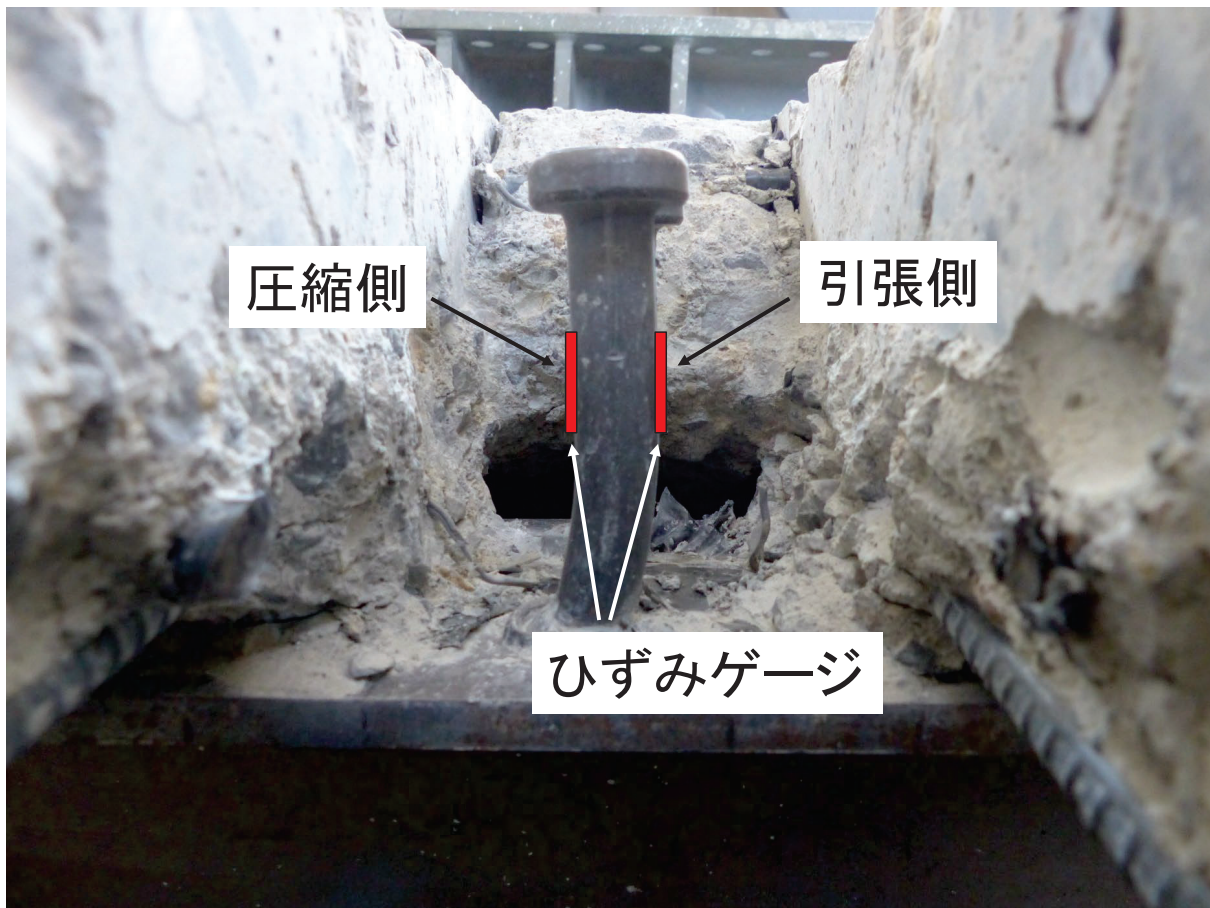
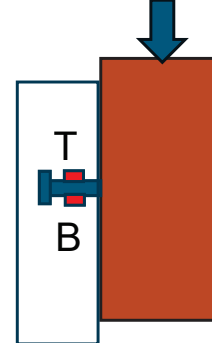
非合成梁試験体



- スタッドに曲げひずみが生じている.
- 引張側のひずみの増分方向が急変

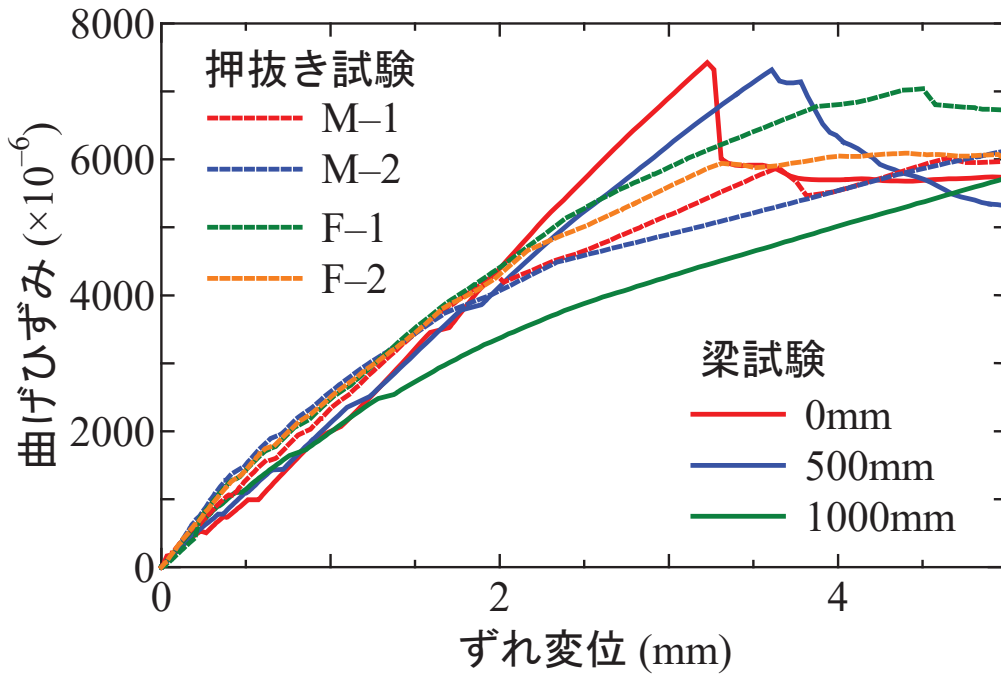


押抜き試験体



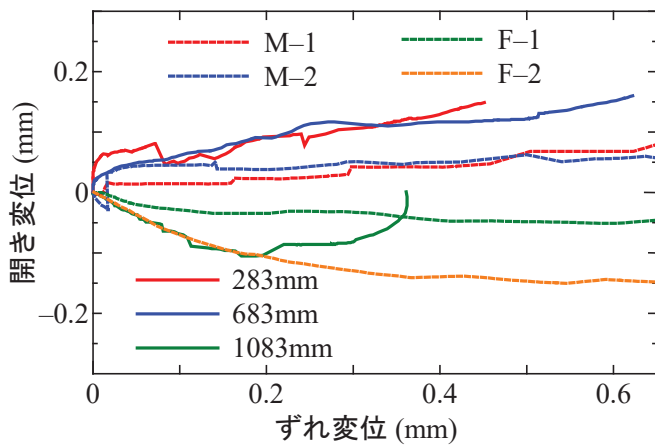
実験終了後のスタッドの状況(非合成梁)

スタッドの曲げひずみとずれ変位の関係

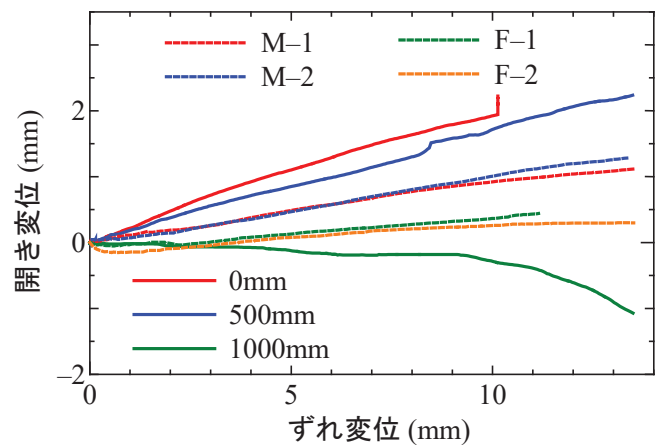


梁と押抜き試験体のスタッドの曲げひずみとずれ変位の関係の対応から、梁試験体中のスタッド曲げひずみあるいはずれ変位からせん断力が推定できる。

ずれ変位と開き変位の関係



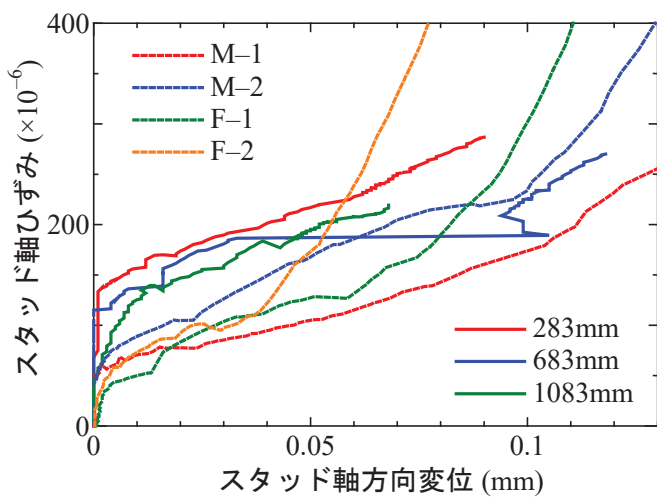
合成梁試験体



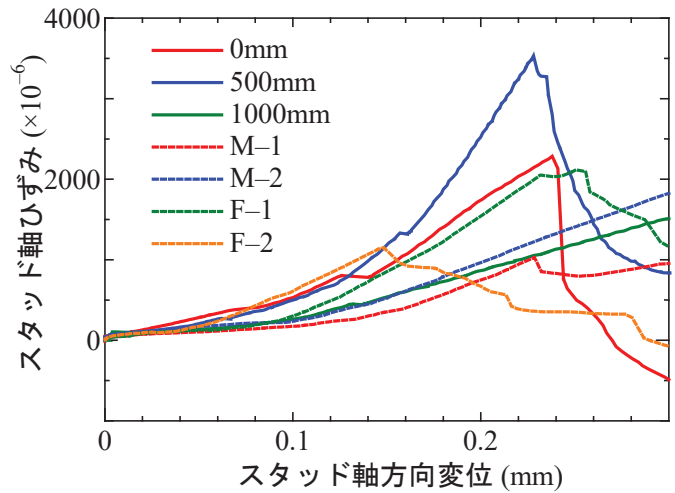
非合成梁試験体



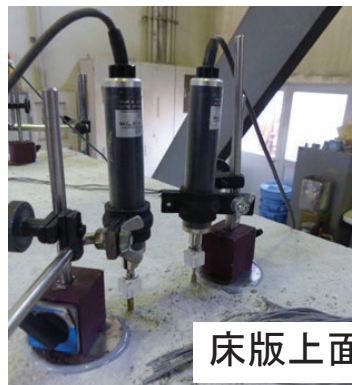
スタッド軸ひずみと軸方向変位関係



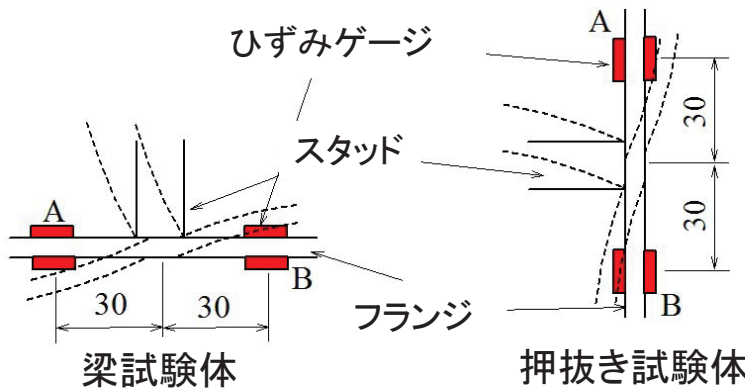
合成梁試験体



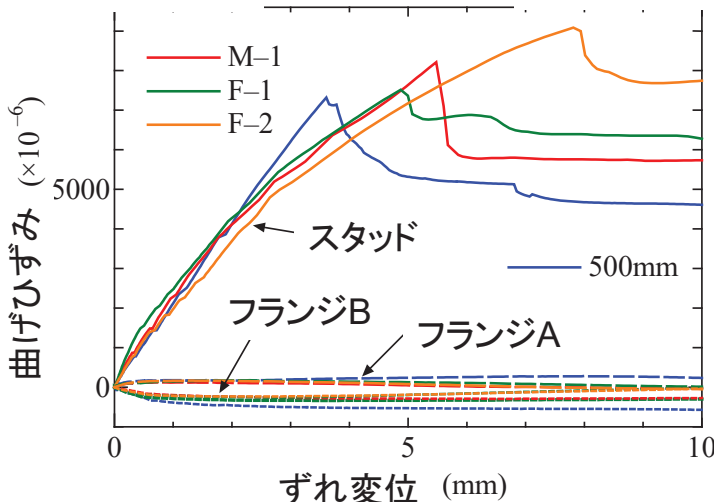
非合成梁試験体



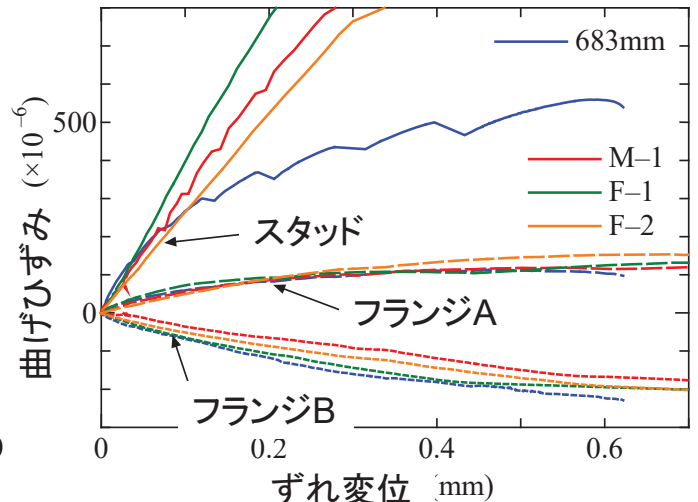
スタッドの変形と鋼フランジの変形



- スタッドの曲げに伴ってスタッド前後の鋼フランジの曲げ変形は梁試験体と押抜き試験体で対応している。

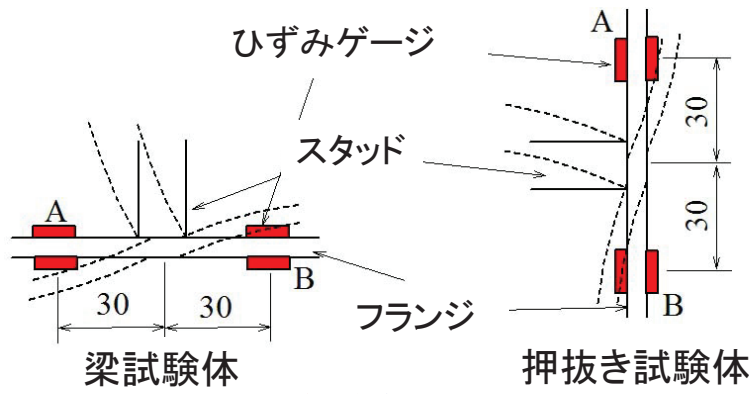


非合成梁と押抜き試験体の比較

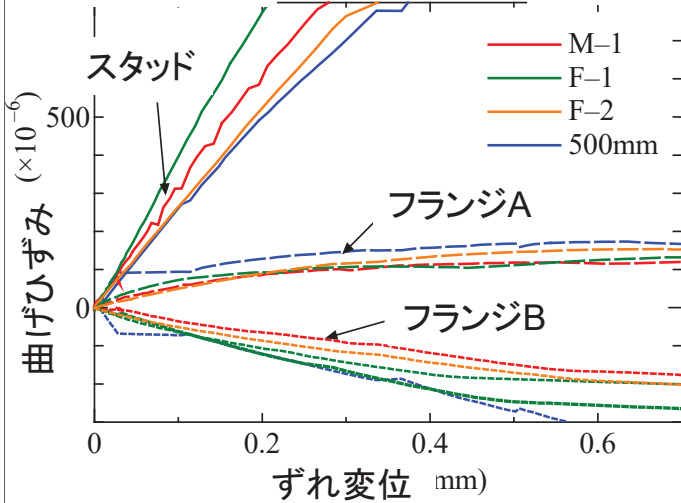


合成梁と押抜き試験体の比較

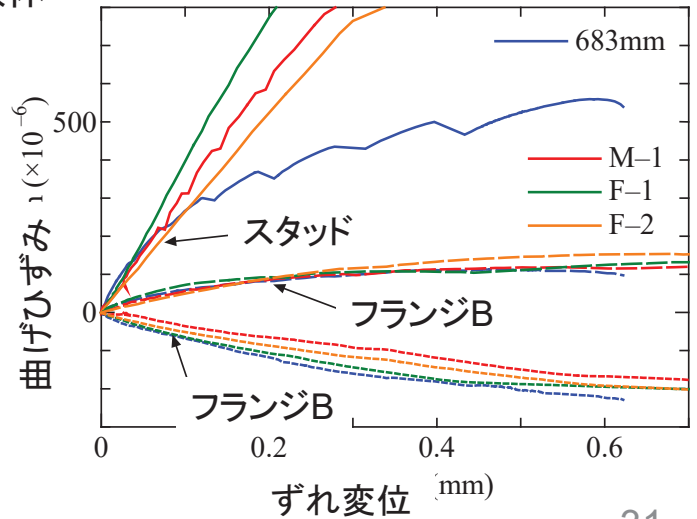
スタッドの変形と鋼フランジの変形



- スタッドの曲げに伴ってスタッド前後の鋼フランジの曲げ変形は梁試験体と押抜き試験体で対応している。

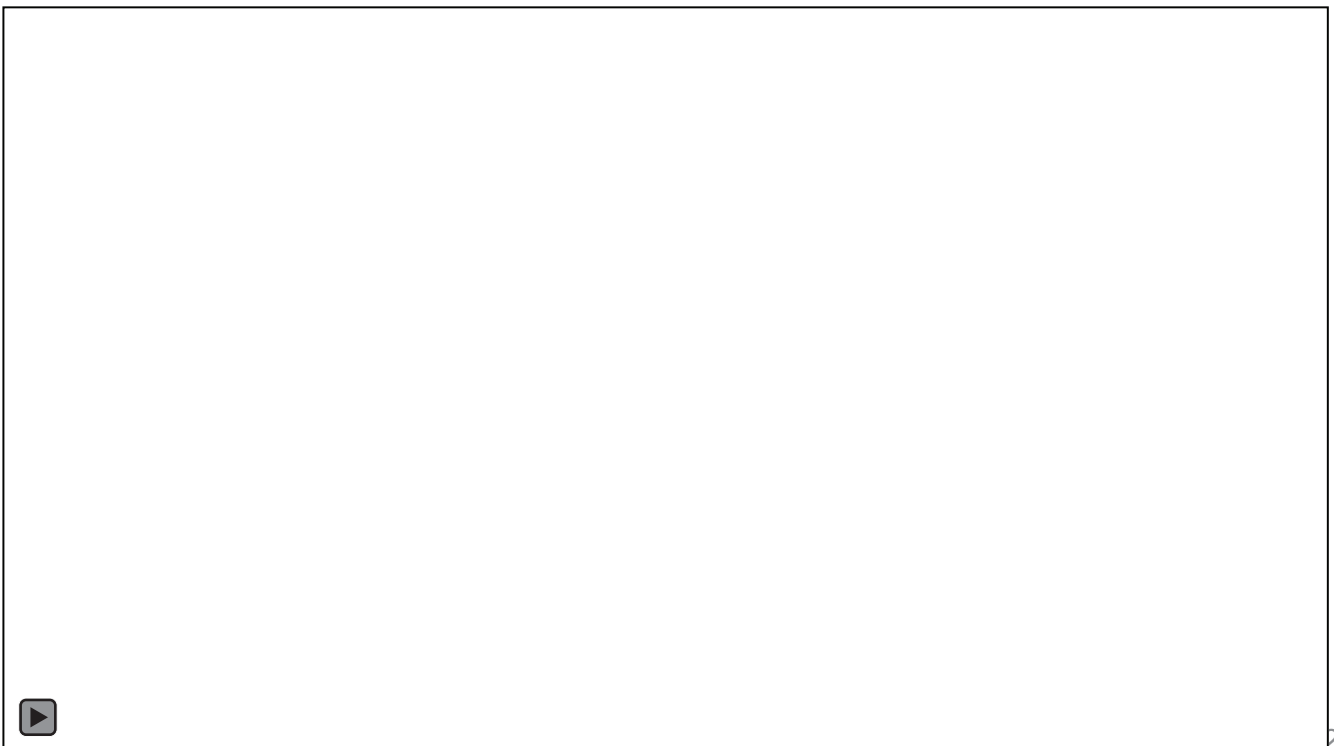


非合成梁と押抜き試験体の比較

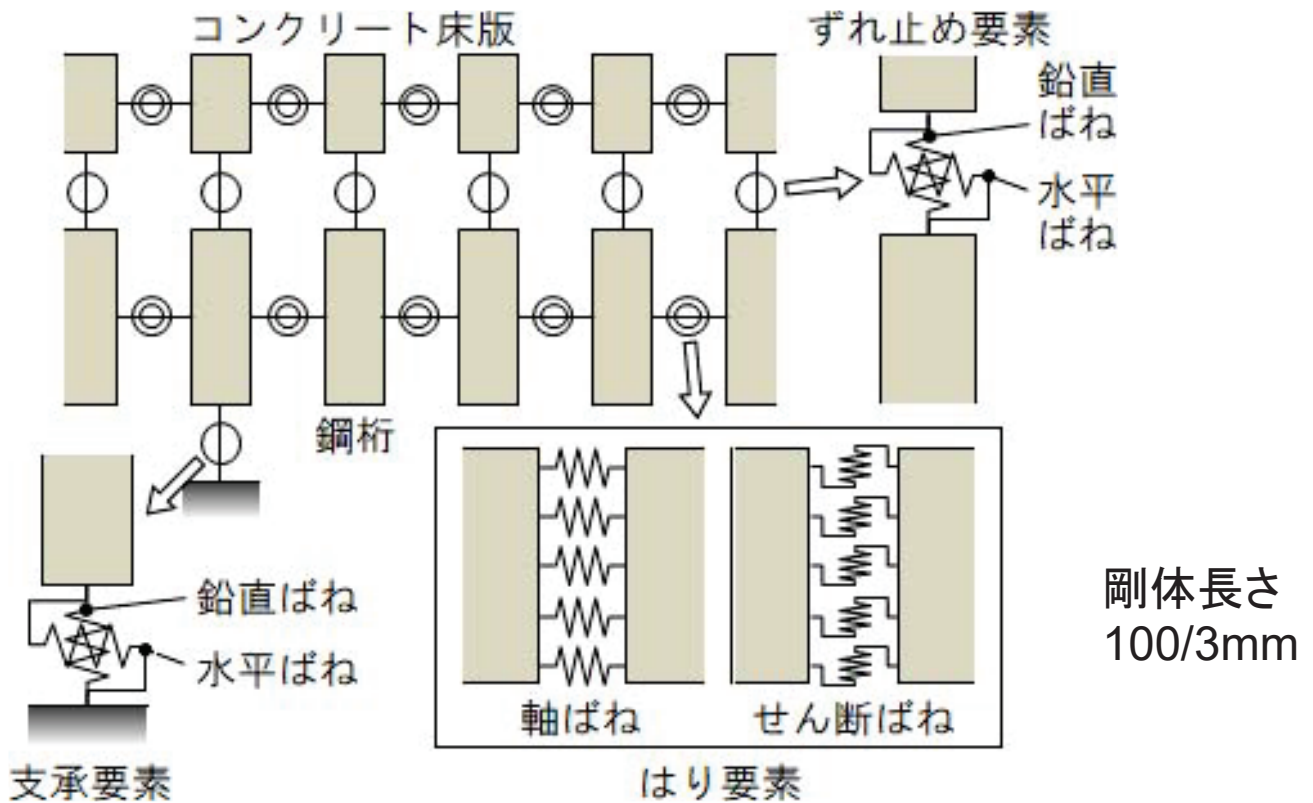


合成梁と押抜き試験体の比較

スタッド押抜き試験の動画

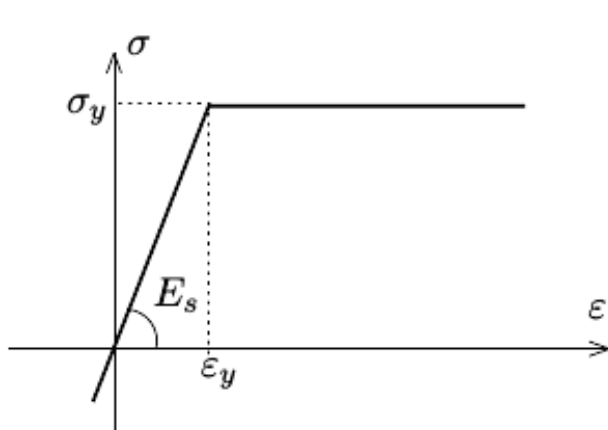


剛体ばねモデル解析

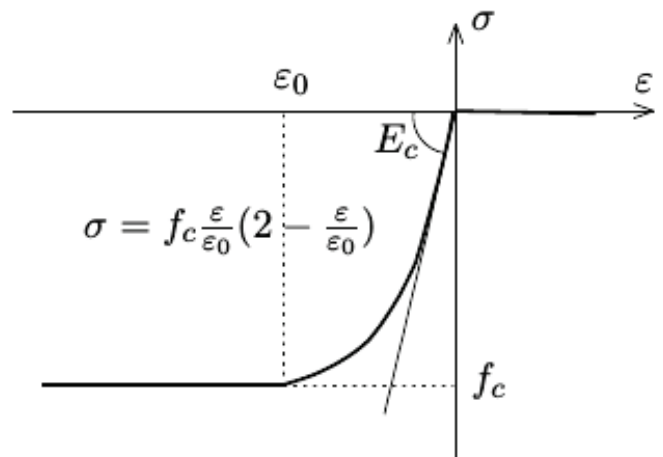


(野上先生がアーチ橋の耐荷力解析に使用)

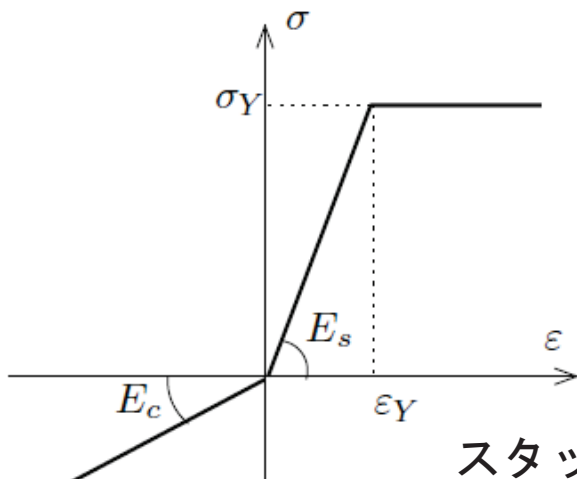
33



鋼材・鉄筋の応力-ひずみ関係

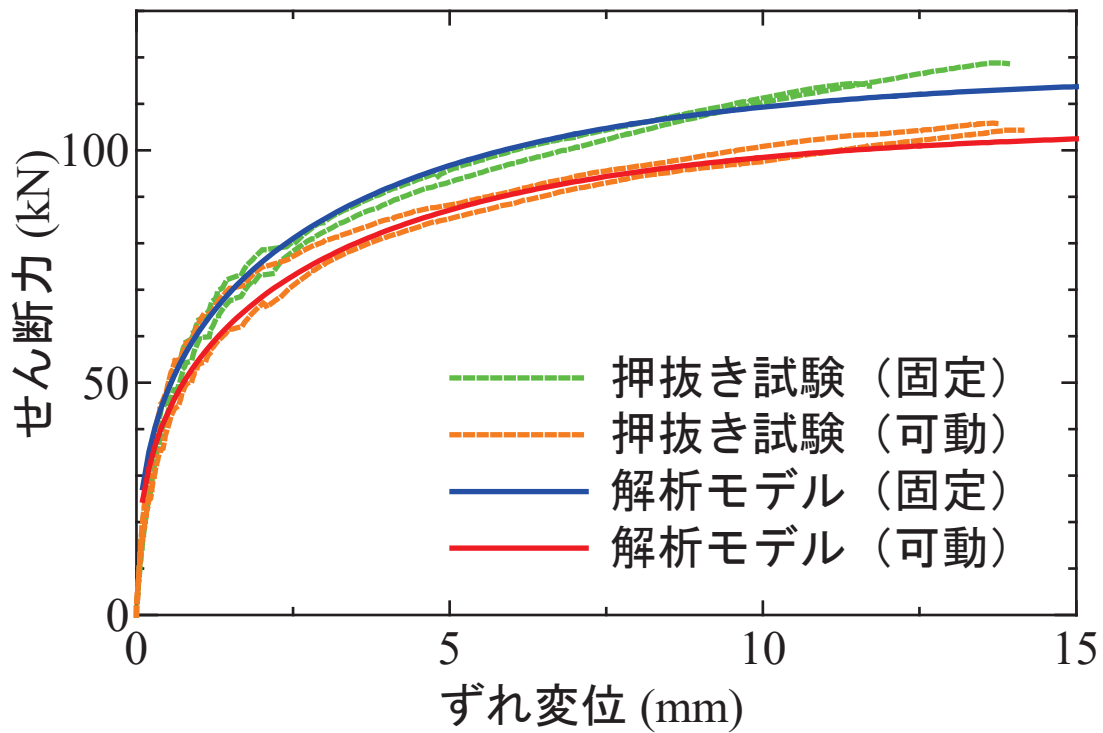


コンクリートの応力-ひずみ関係



スタッドの鉛直ばね特性

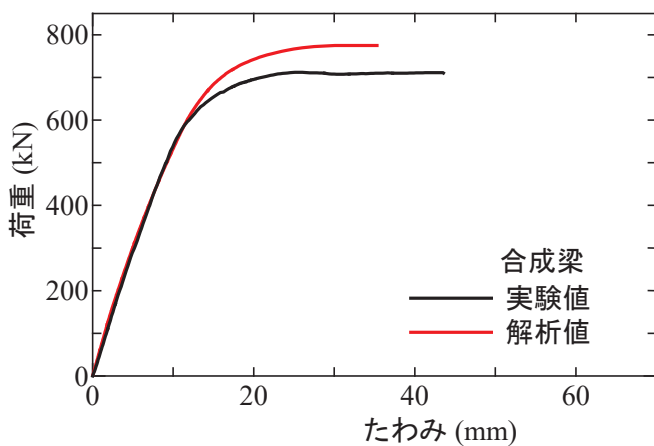
34



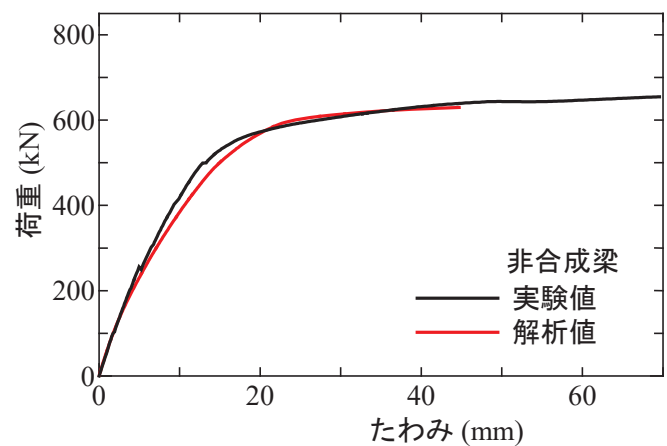
複合構造標準示方書スタッドのせん断力-ずれ変位関係式

$$V_{ss} = V_{ssud} (1 - e^{-\alpha \delta_{ss}/d_{ss}})^{\beta} \quad (1)$$

35

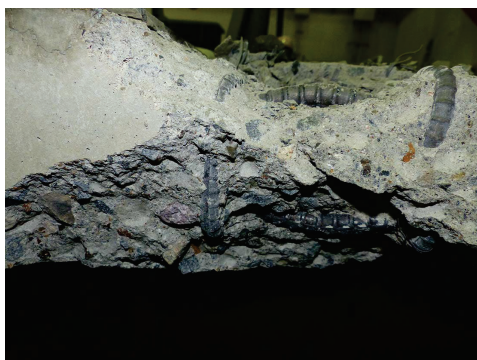


合成梁



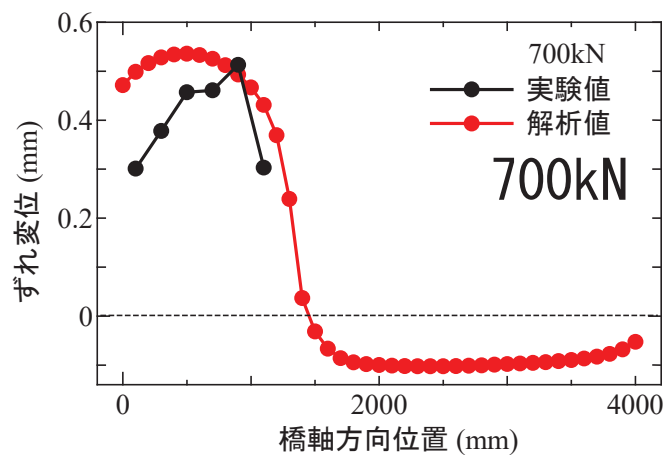
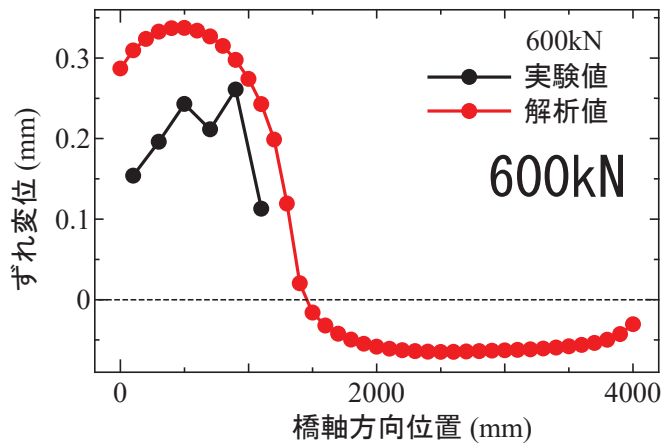
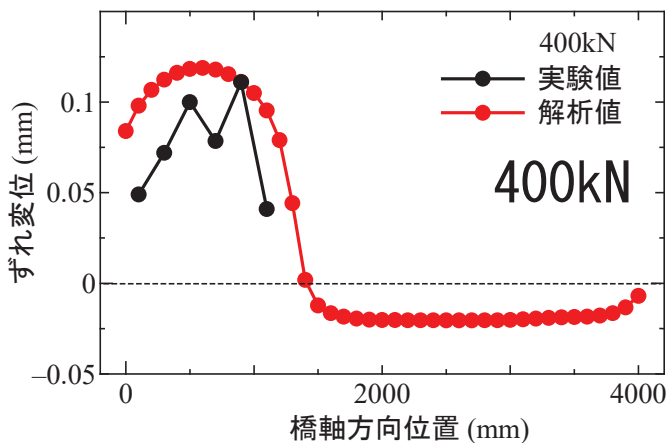
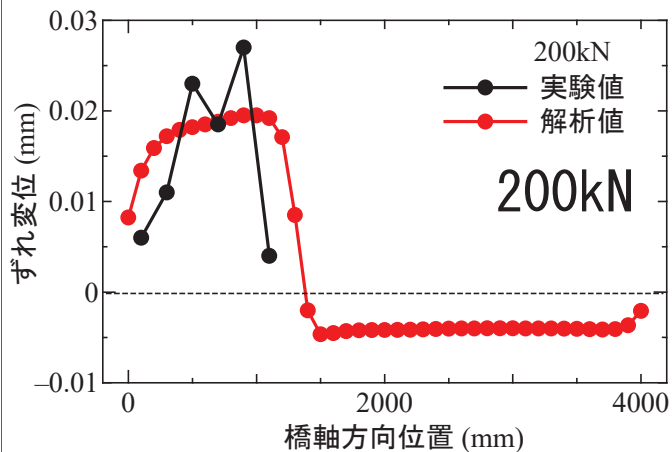
非合成梁

載荷点の荷重-たわみ関係

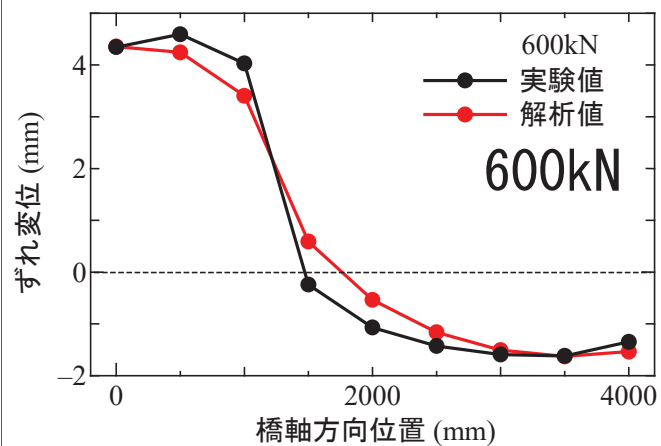
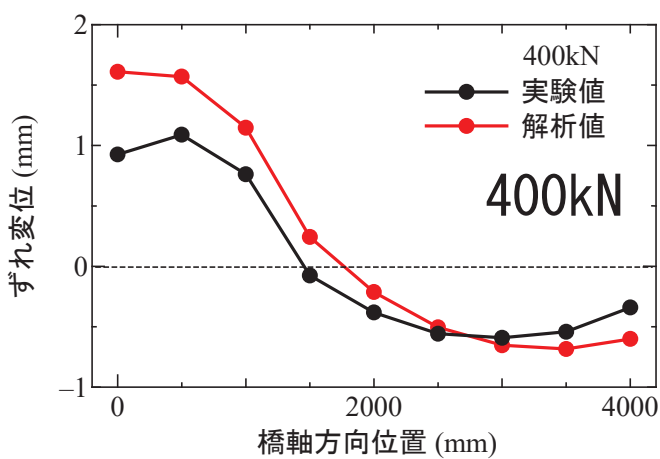
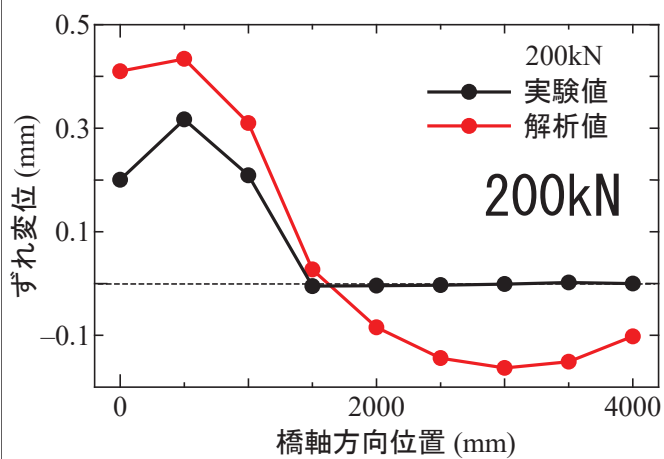


(解析においては鋼梁の
残留応力を考慮)

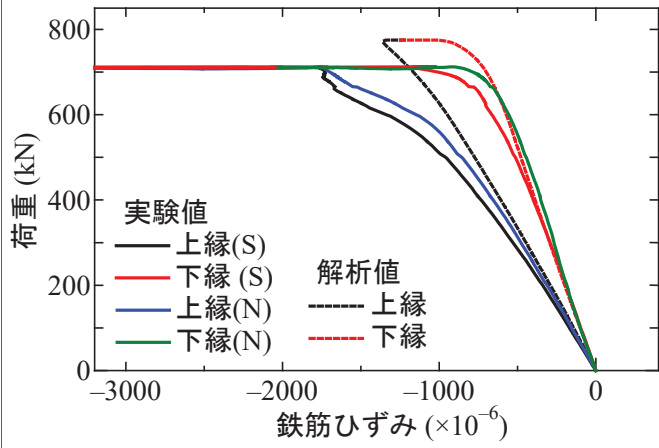
36



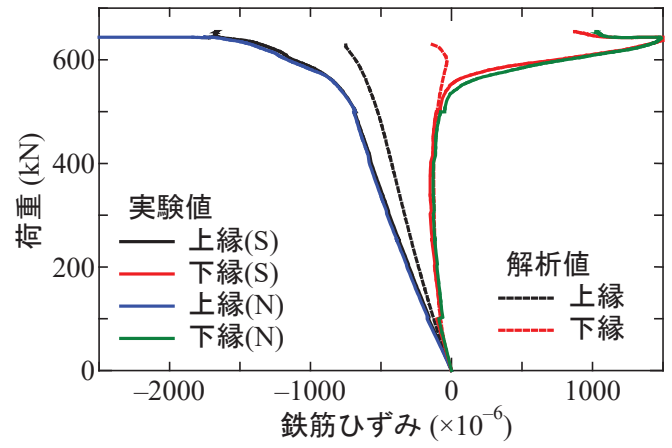
合成梁のずれ変位分布



非合成梁のずれ変位分布

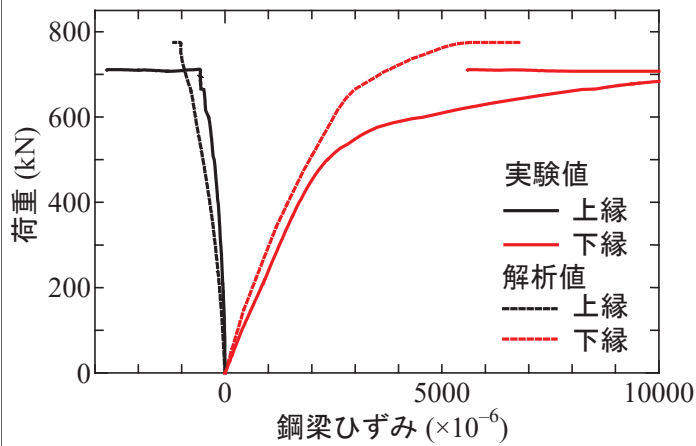


合成梁

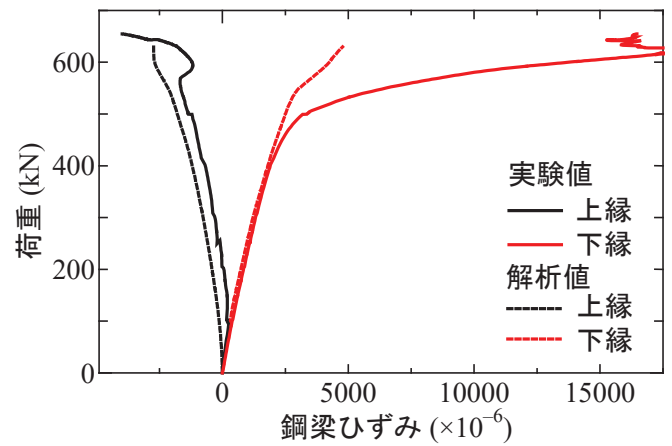


非合成梁

荷重と鉄筋ひずみの関係



合成梁



非合成梁

荷重と鋼梁ひずみの関係

まとめ

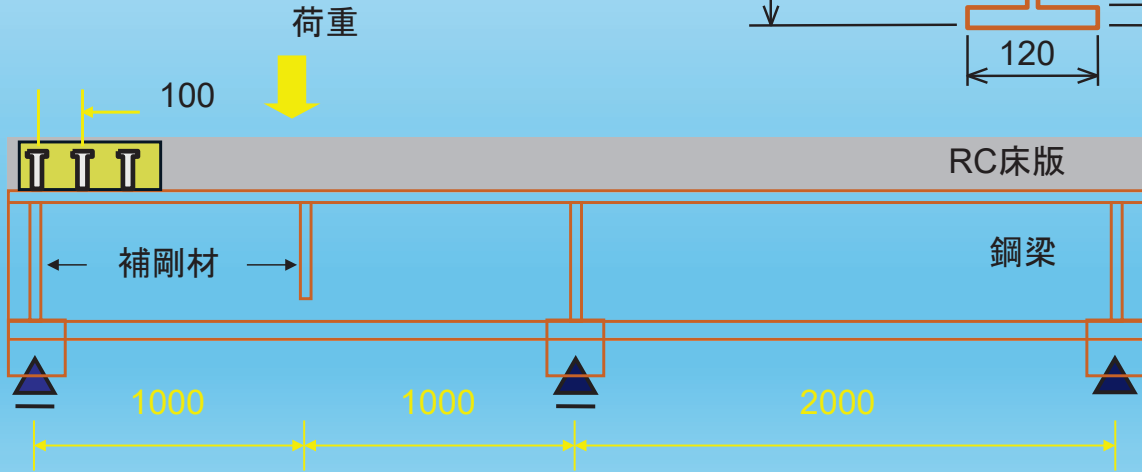
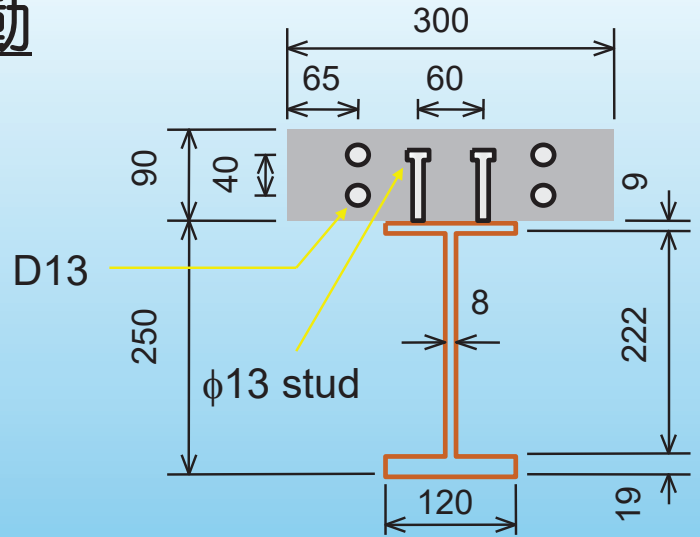
- 合成梁および非合成梁の実験挙動を剛体ばねモデル解析結果がある程度再現できることを確認した.
- 種々の計測項目の結果から, 梁試験体中のスタッドの挙動と押抜き試験体中のスタッドの挙動の対応関係を確認した.

連続合成梁の実験と解析

- 2径間連続合成梁を用いて, 合成梁の負曲げ領域の力学性状を確認する.
- 剛体ばねモデル解析による合成梁負曲げ領域の挙動の再現を試みる.

連続合成梁の負曲げ挙動 (NCBc, NCBd)

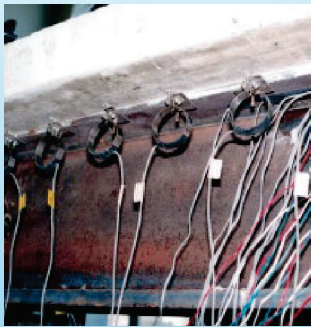
スタッド配置間隔100mm
高さ70mm



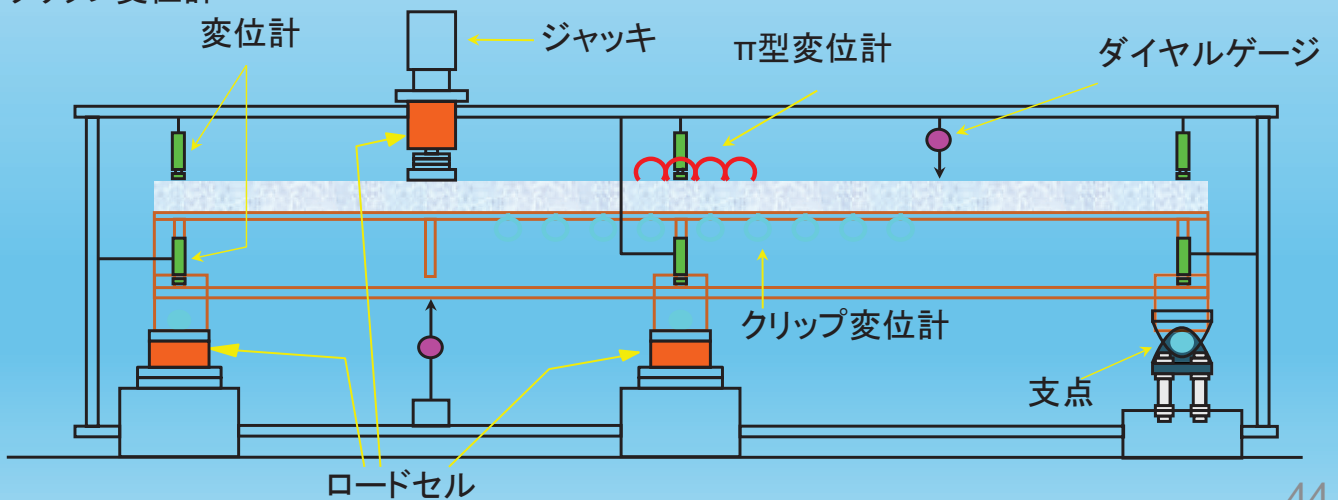
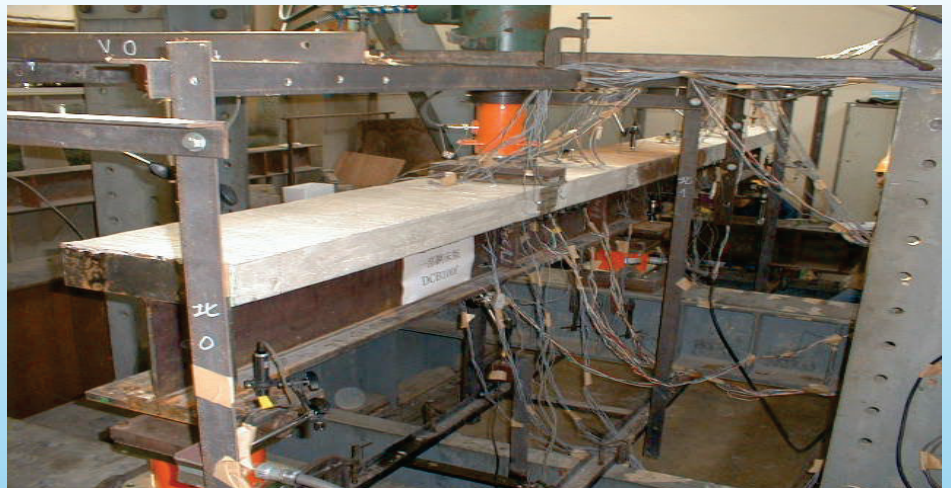
(単位: mm)

43

載荷試験の状況

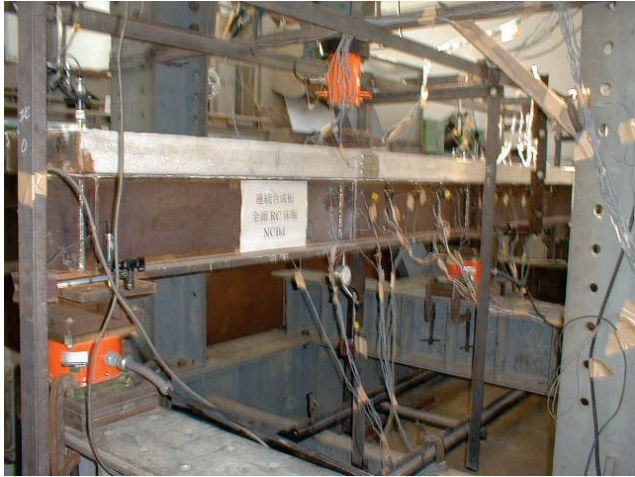


クリップ変位計



44

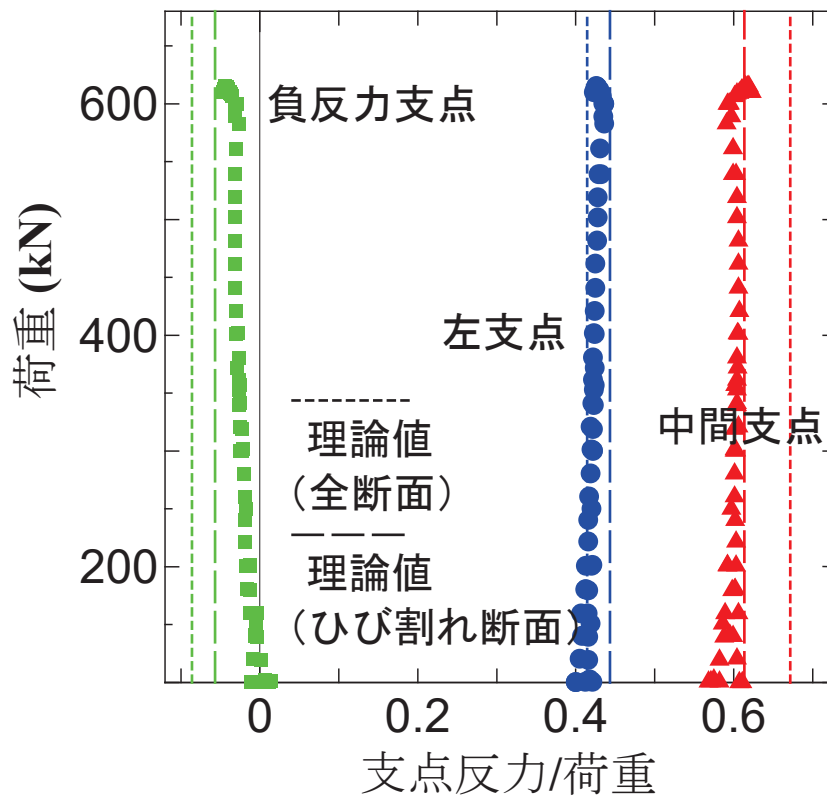
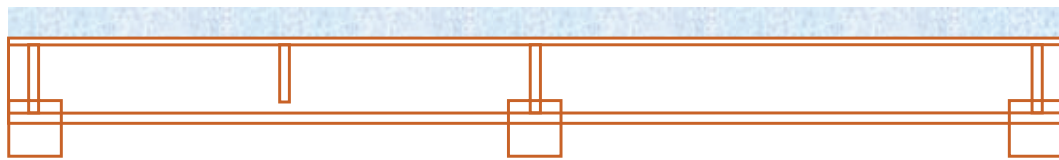
支点の状況



支点反力測定用ロードセル設置
(左支点, 中間支点)

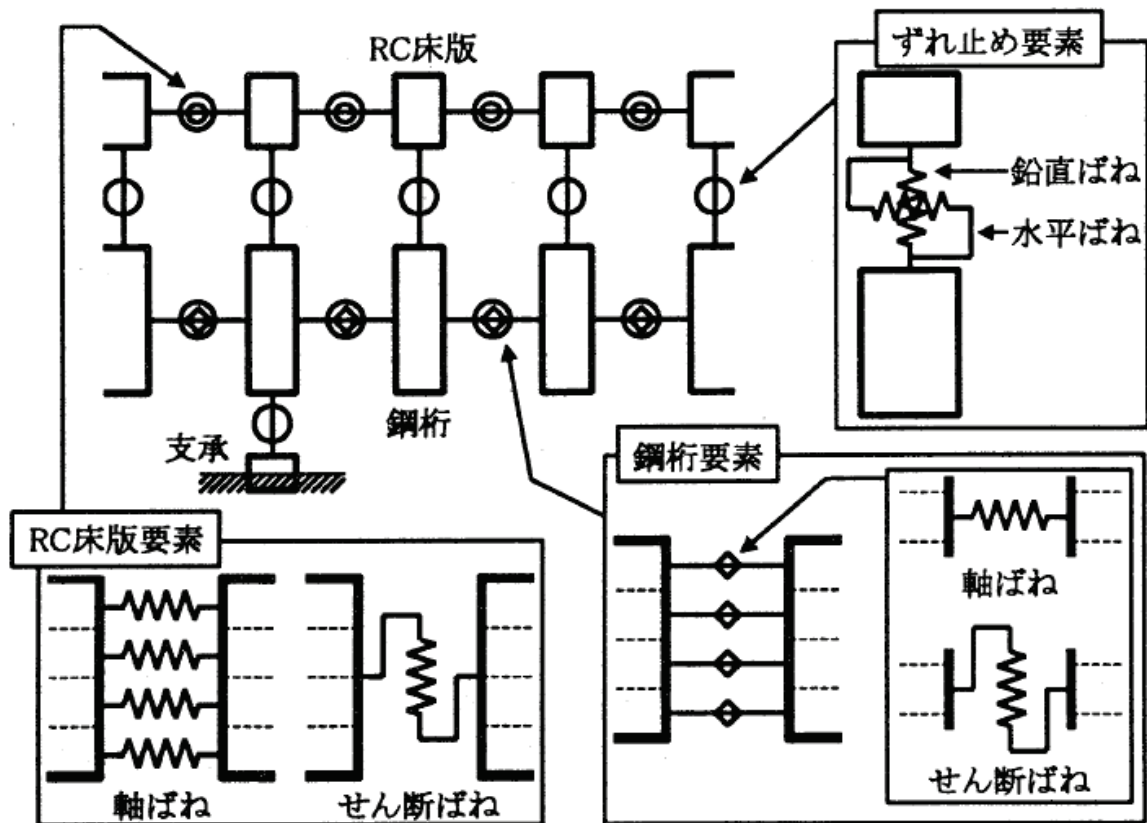


負反力支点(右支点)
高さ調整



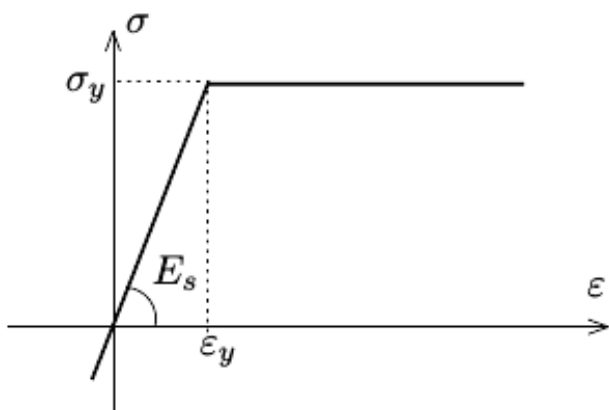
荷重と支点反力比の関係

剛体ばねモデル解析

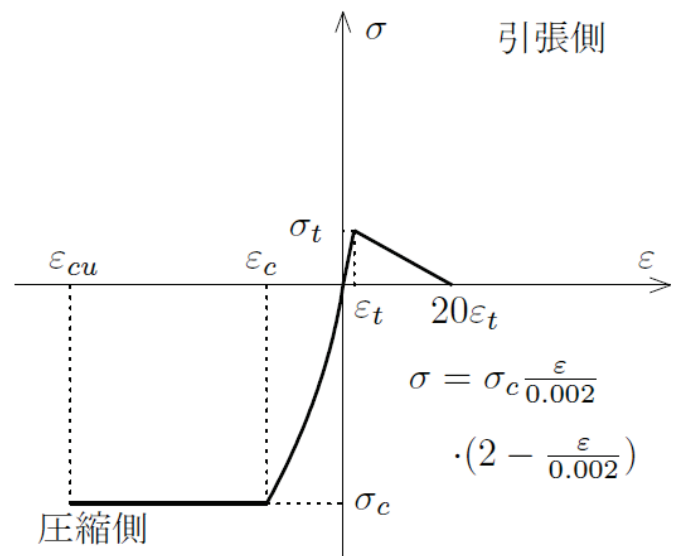


剛体長さ100mm

47

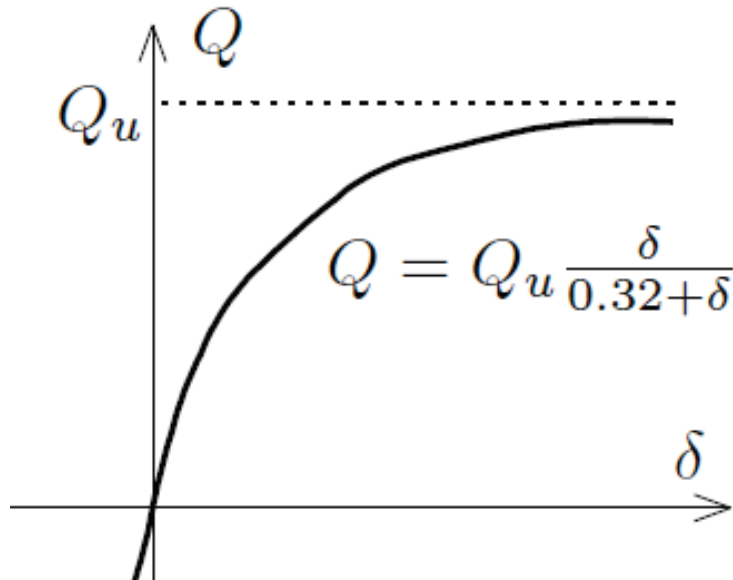


鋼材の応力-ひずみ関係
(せん断応力の影響を考慮)

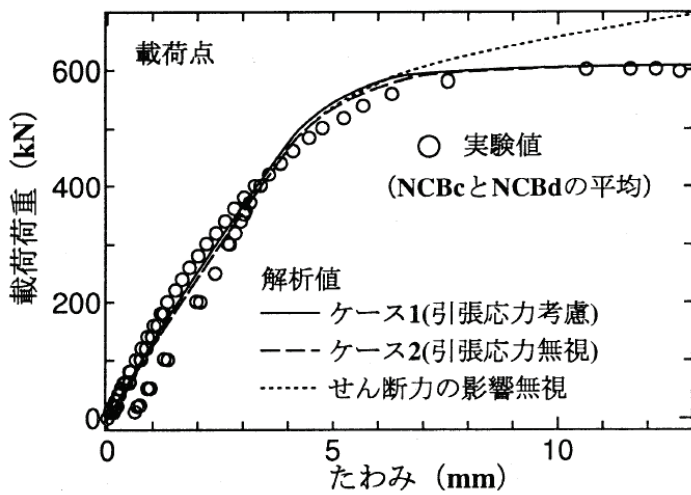


コンクリートの
応力-ひずみ関係

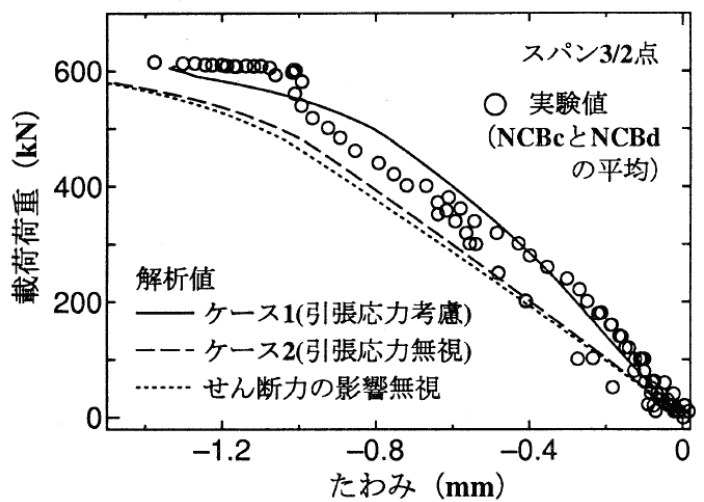
48



ずれ止めのせん断力-ずれ変位関係
(Fisherらの提案式)

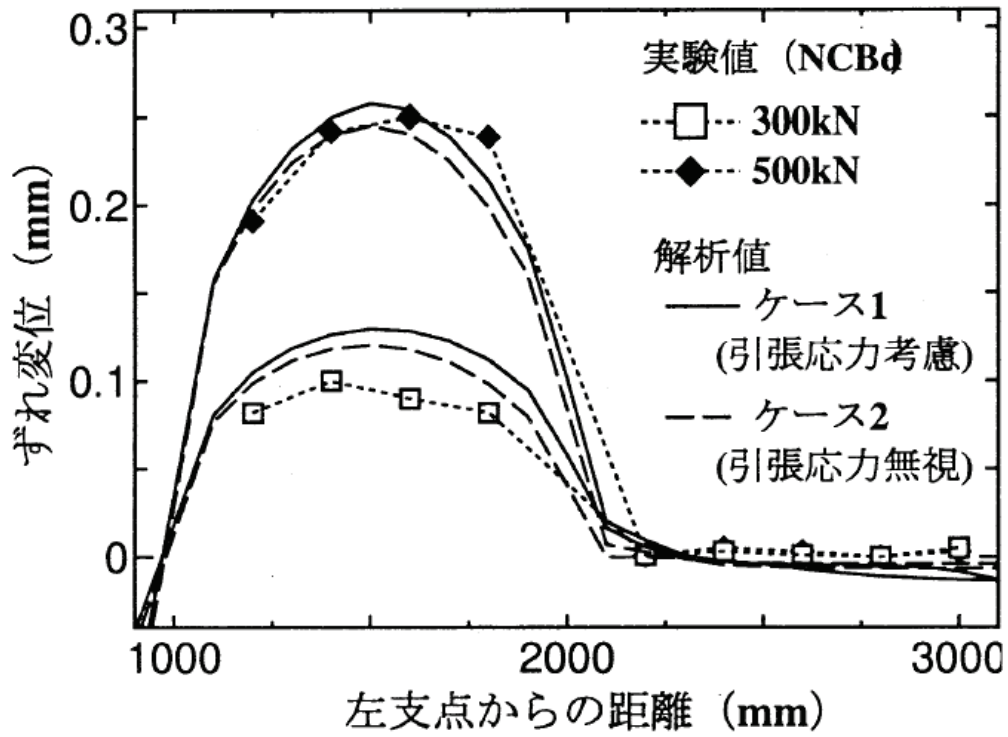


載荷点

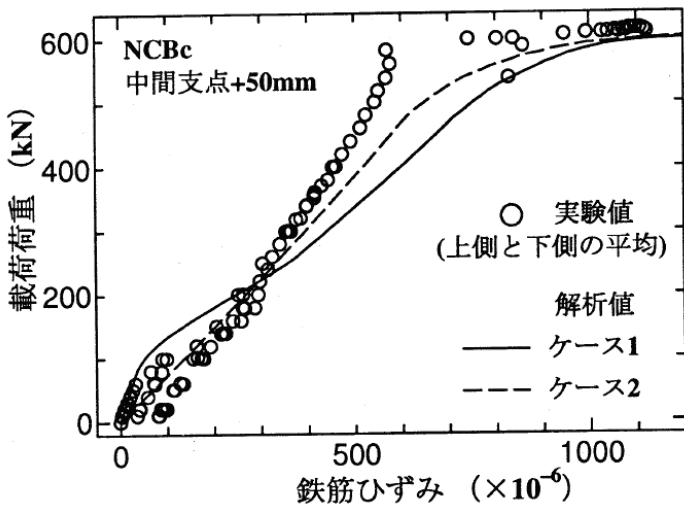


スパン3/2点

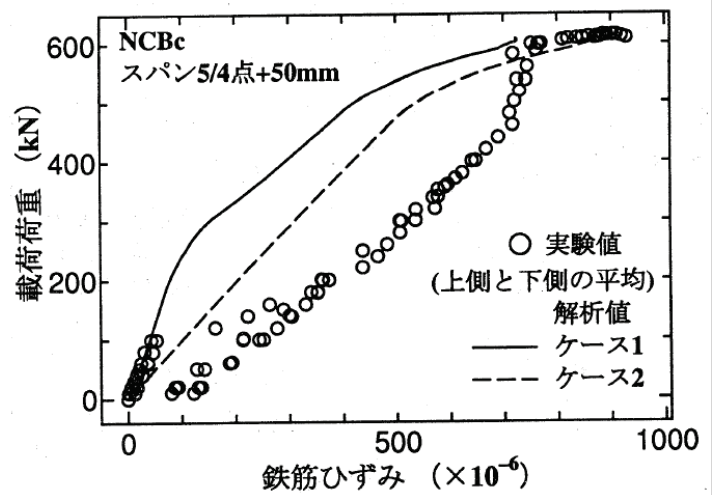
荷重-たわみ関係



橋軸方向ずれ変位分布

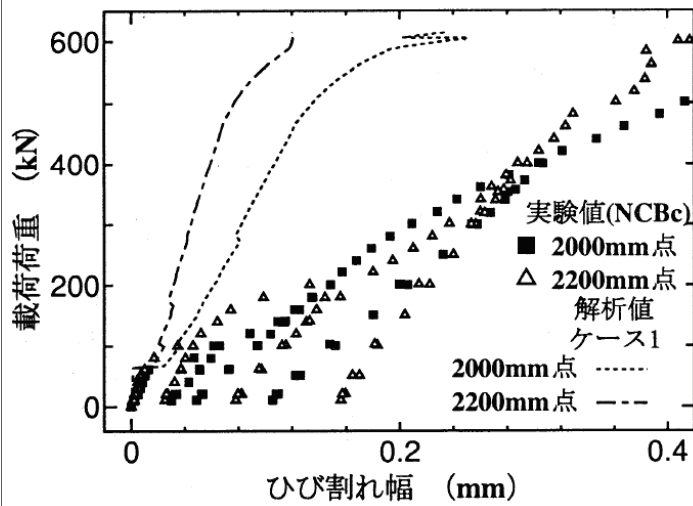


中間支点+50mm位置

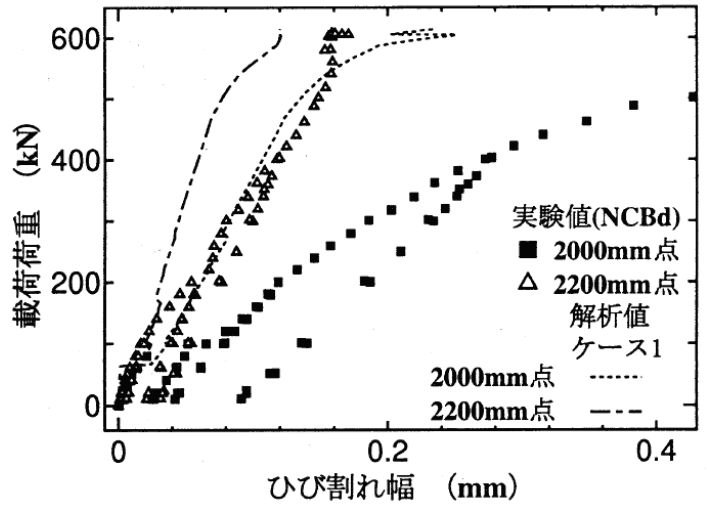


スパン5/4点+50mm位置

荷重—鉄筋ひずみ関係



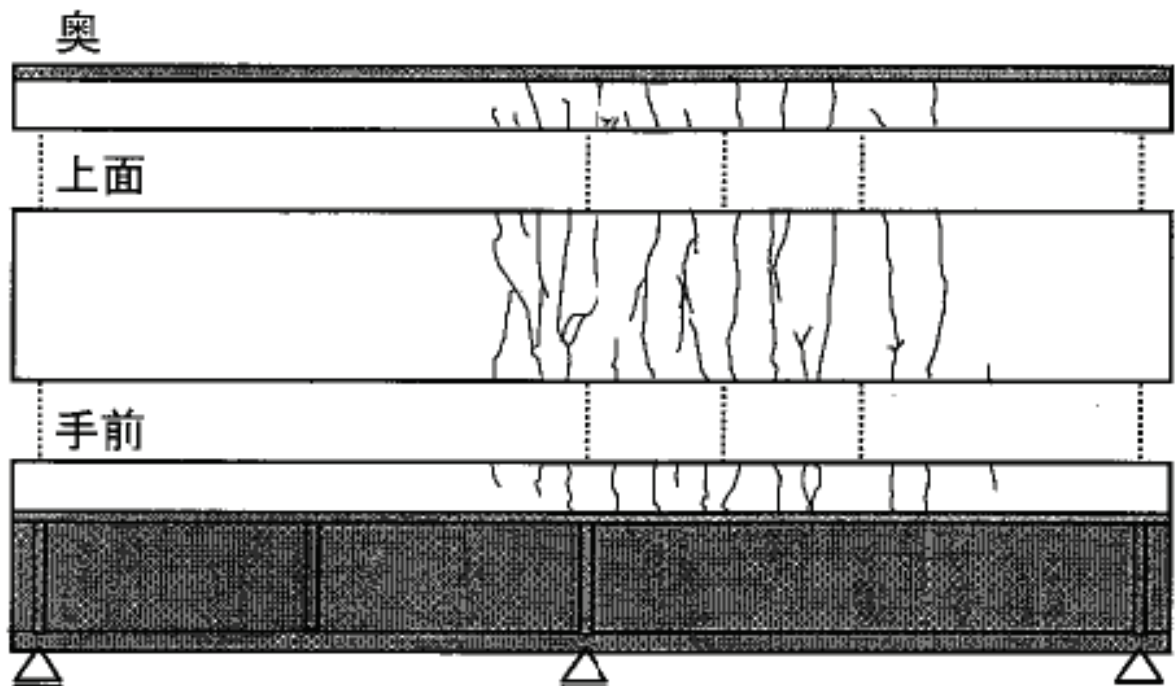
試験体NCBc



試験体NCBd

荷重－ひび割れ幅関係

解析では、剛体長さ100mmとしたときの剛体間の開きをひび割れ幅として算定



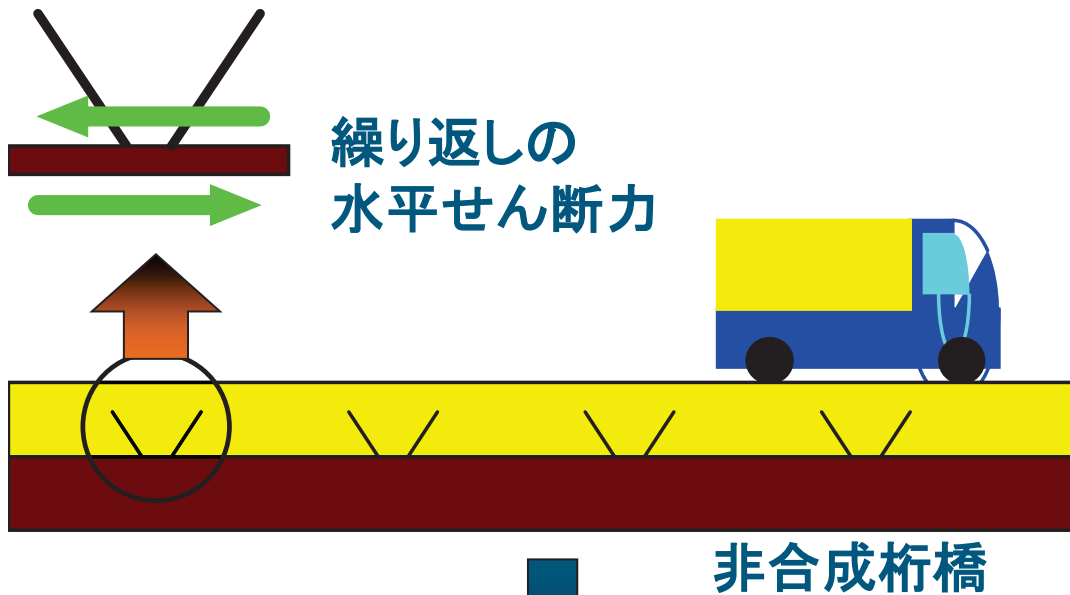
最大荷重時におけるひび割れ性状(NCBc)

まとめ

- 2径間連続合成梁の負曲げ領域の挙動を剛体ばねモデル解析によりある程度追跡できた.
- ただし, 剛体ばねモデル解析による床版のひび割れ幅は実験値の1/2程度となり, 必ずしもうまく算定できていない.

押抜きおよび梁試験によるスラブ止めの水平せん断ずれ性状と疲労強度の検討

- ずれ止めとしてスラブ止めを用いた押抜き試験体および正曲げ, 負曲げ梁試験体の静的載荷試験および疲労試験を行い, スラブ止めの静的水平せん断ずれ性状および疲労強度を相互に比較検討した.



押抜き・正曲げ梁・負曲げ梁内の
スラブ止めの静的水平せん断ずれ性状
と疲労強度の比較

57

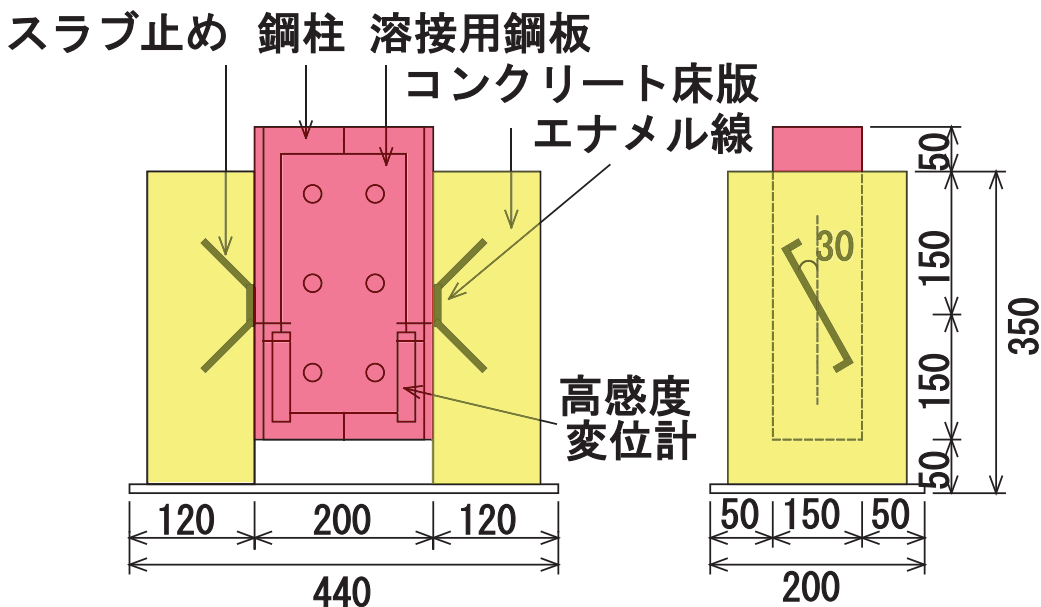
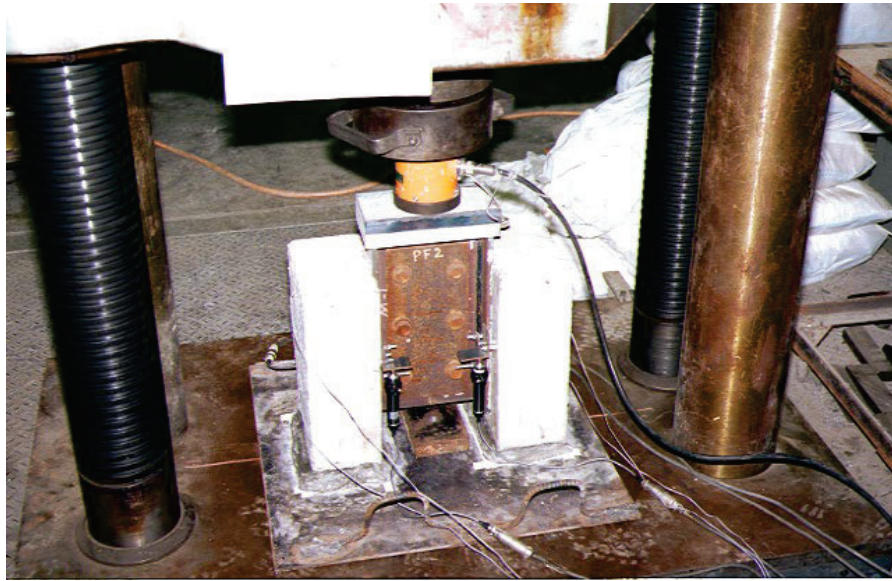


図1. 押抜き試験体

スラブ止めΦ10mm, 長さ30cmの丸鋼

58



押抜き試験体の载荷状況

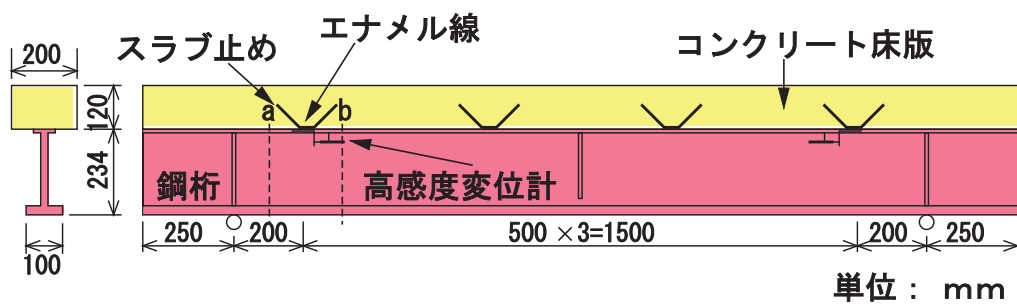


図2. 正曲げ梁試験体

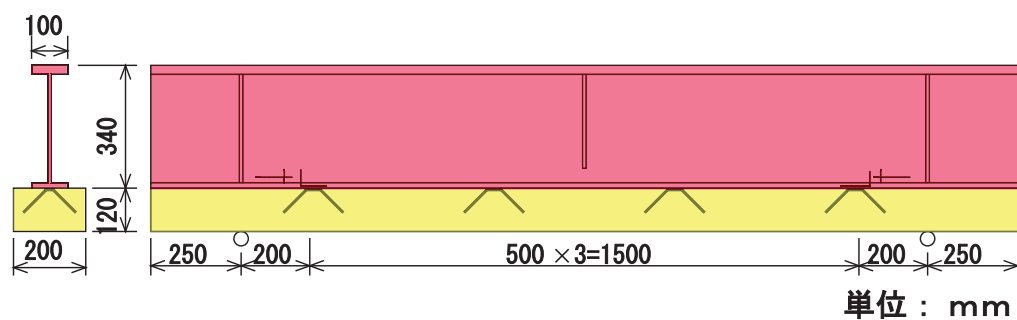
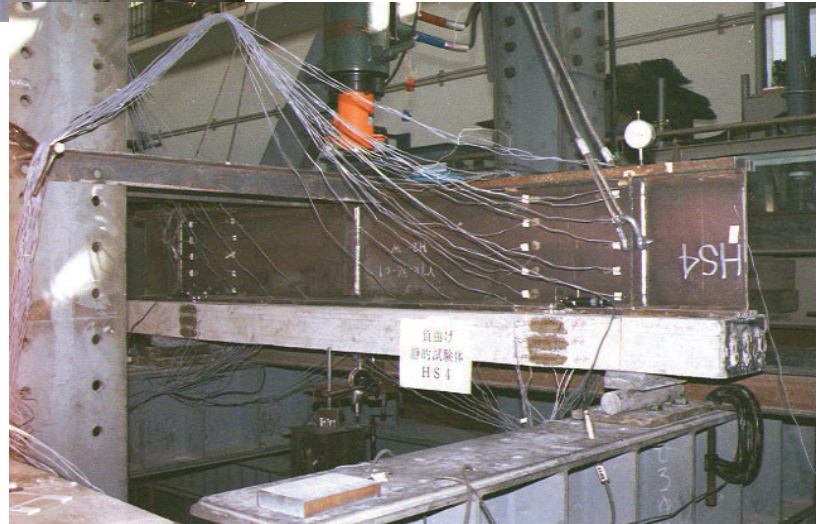
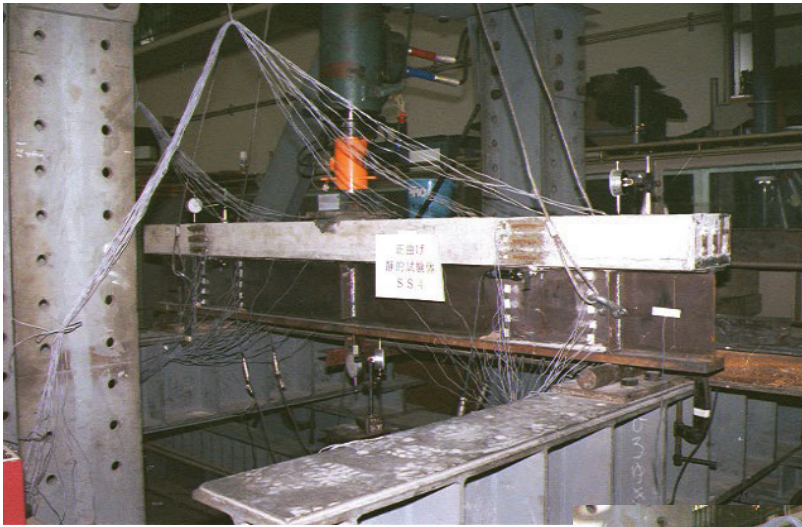
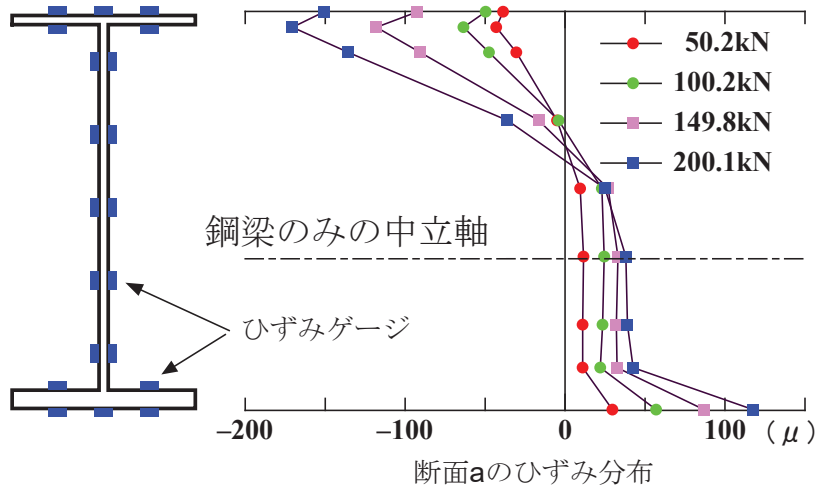


図3. 負曲げ梁試験体

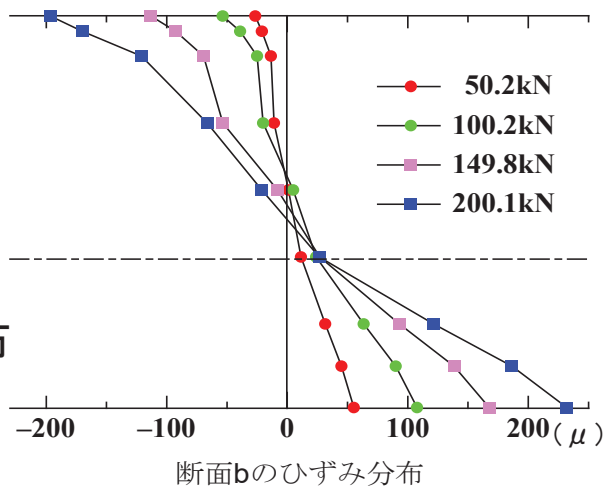
正曲げ梁試験体の 載荷状況

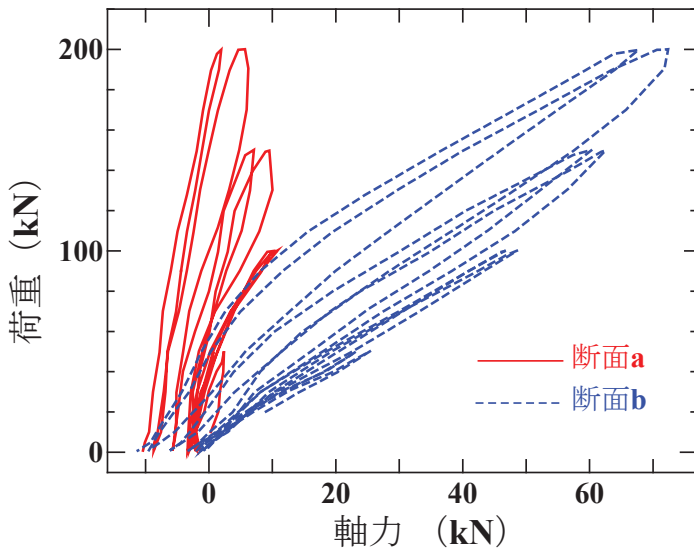


負曲げ梁試験体の 載荷状況



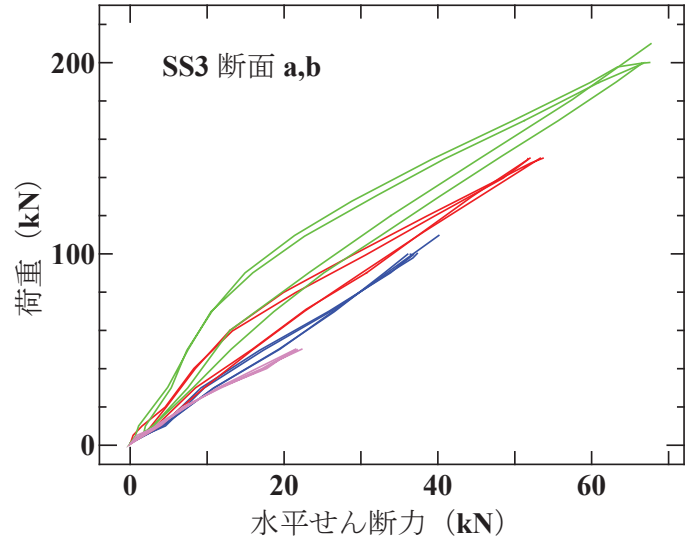
鋼梁のひずみ分布





荷重—軸力関係

荷重—水平せん断力
関係



水平せん断力 (kN)

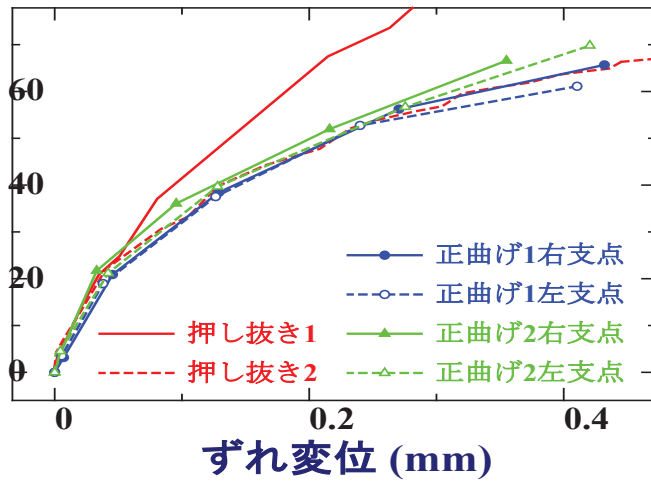


図7 - a. 正曲げ梁試験

水平せん断力 (kN)

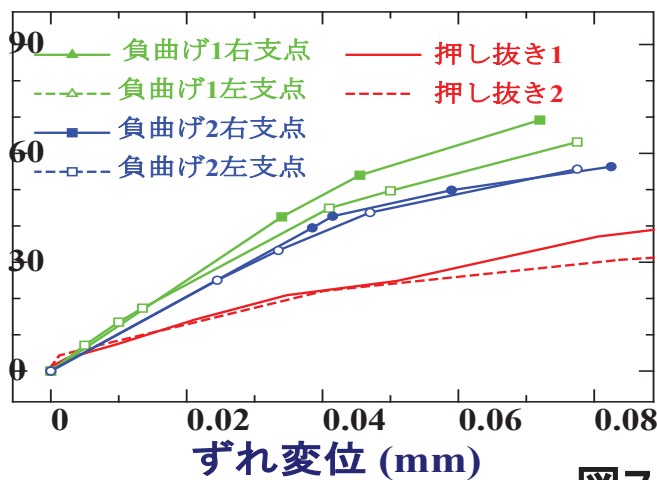
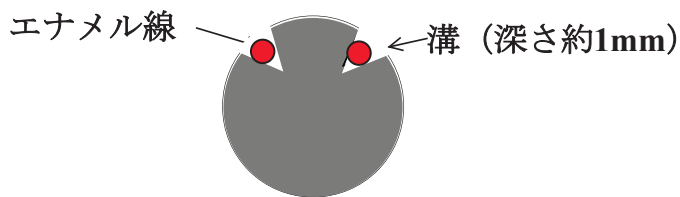
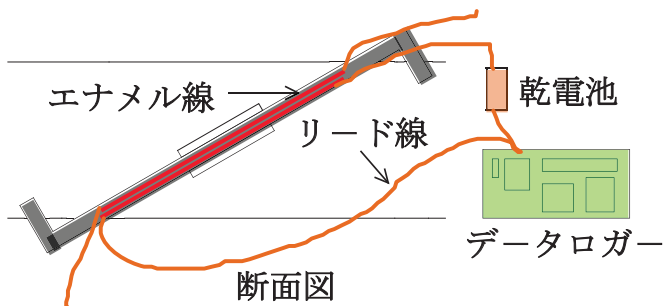
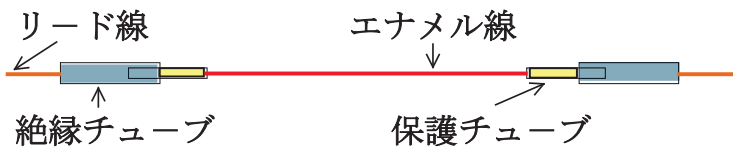


図7 - b. 負曲げ梁試験

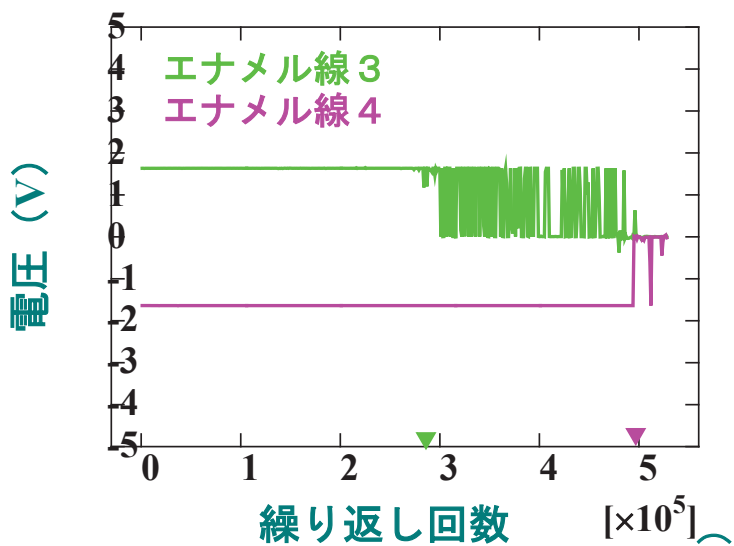
図7. せん断力—ずれ変位曲線



スラブ止め断面図 (φ10丸鋼)

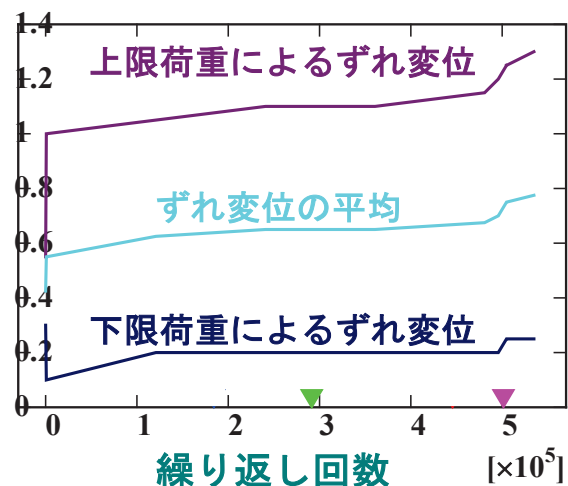


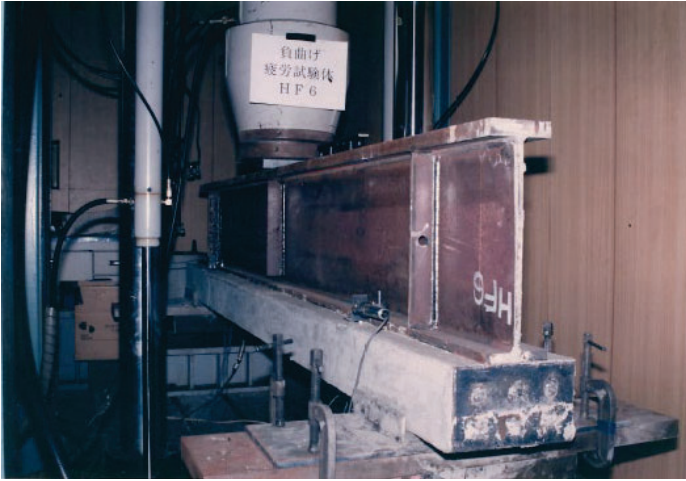
図4. 疲労破断感知装置



電圧—繰り返し回数曲線

ずれ変位—繰り返し回数曲線





負曲げ梁試験体の
疲労試験状況

スラブ止めの破断状況

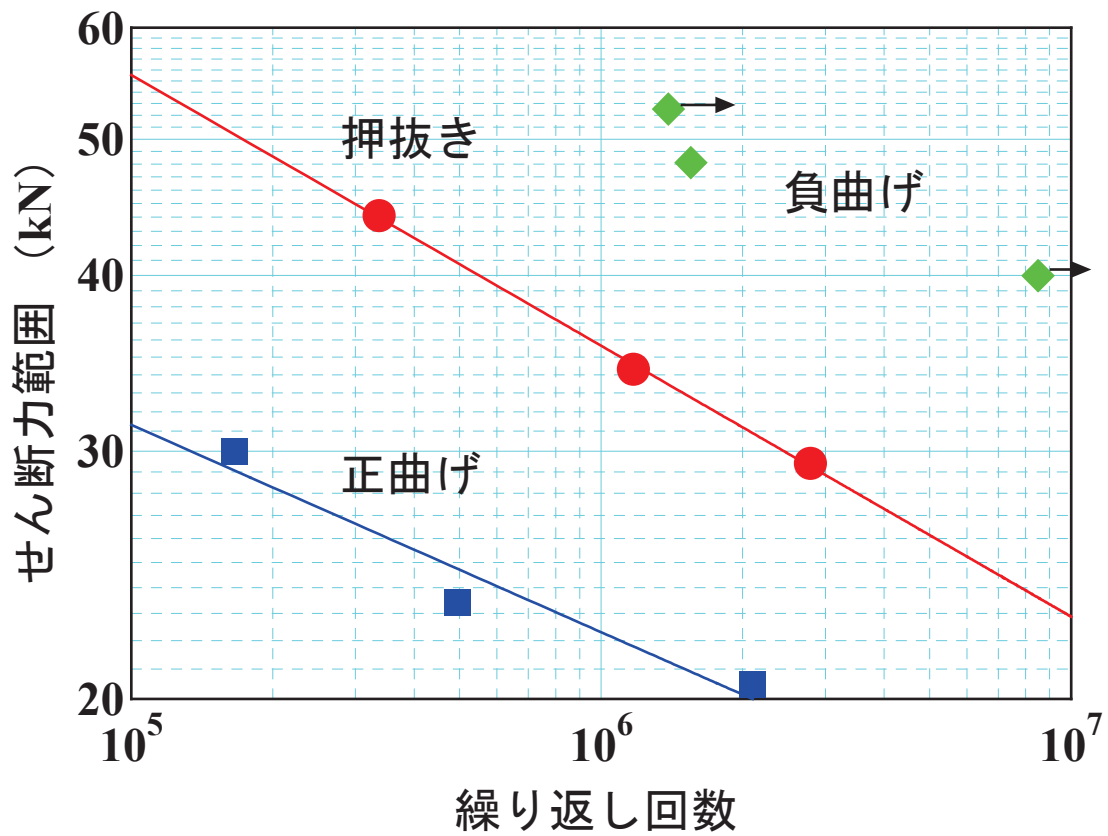


図9. S-N線図

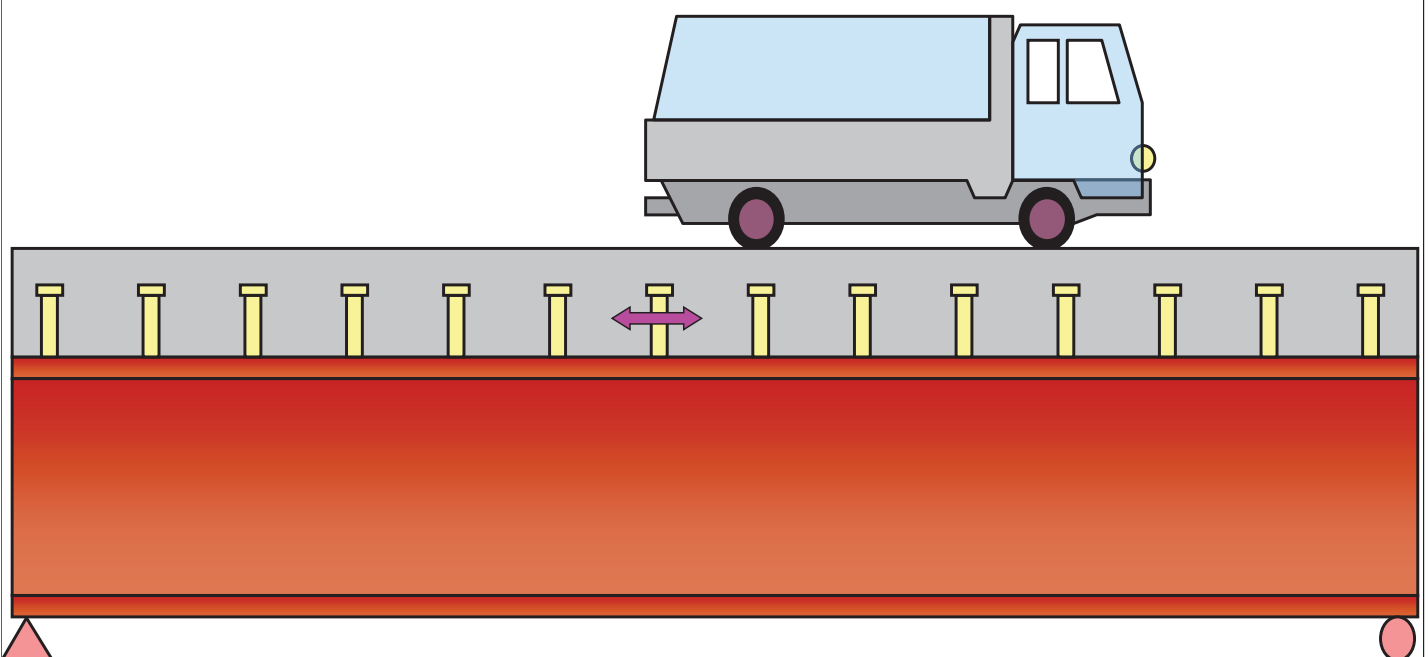
梁試験ではずれ変位に基づいてせん断力を算出

まとめ

- スラブ止めの静的せん断ずれ性状では，正曲げ梁試験の結果は押抜き試験の結果とほぼ一致した。しかし，負曲げ梁試験の結果は押抜き試験の結果よりもずれ止め剛度およびせん断耐力が大きくなった。
- スラブ止めの疲労強度では，正曲げ梁試験，押抜き試験，負曲げ梁試験の順に疲労強度が高くなった。
- これは，正曲げ梁試験における鋼梁とコンクリート床版との支圧の影響が最も小さく，押抜き試験，負曲げ梁試験の順に鋼梁とコンクリート床版との支圧の影響が大きくなるためであると考えられる。

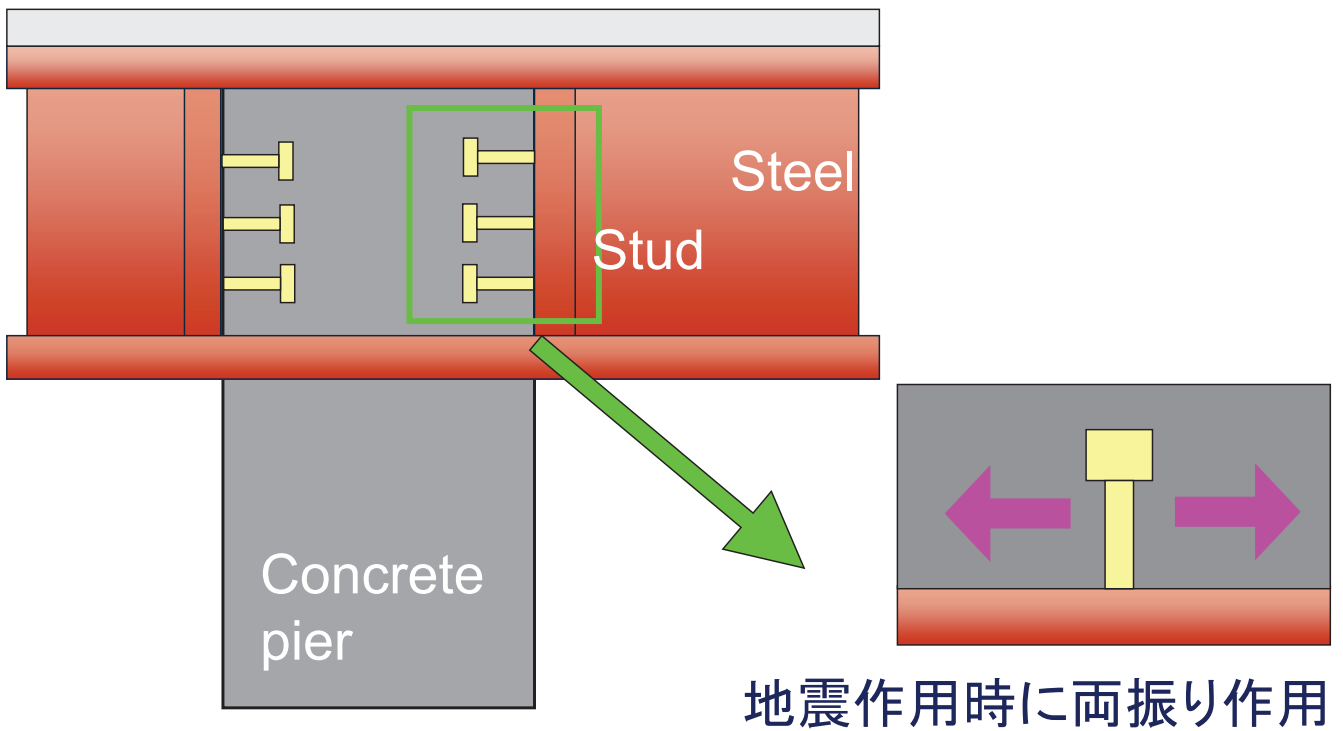
69

両振り作用を受ける頭付きスタッドの挙動



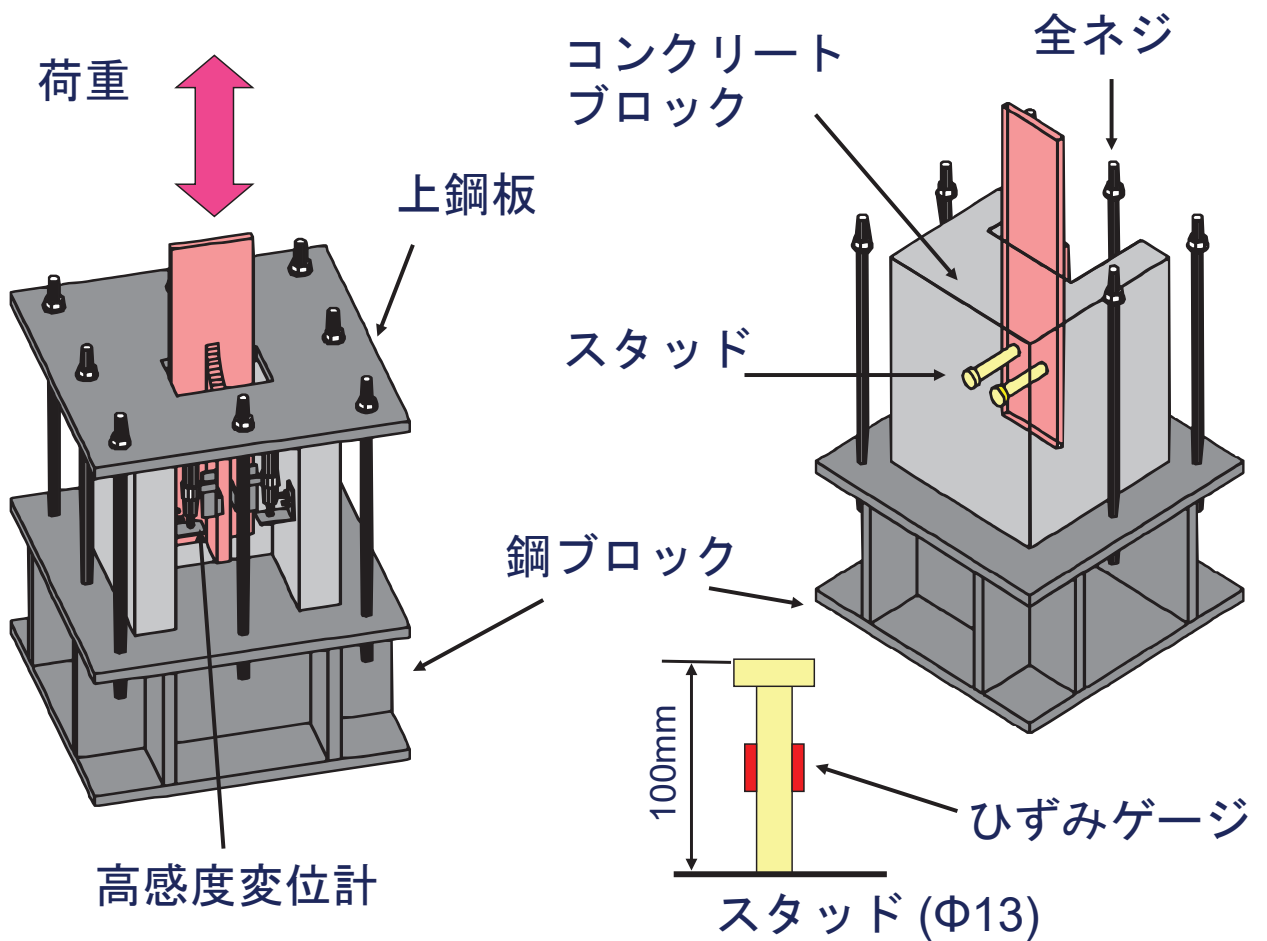
合成桁のスタッドは車両走行により両振りせん断力を受ける。

70



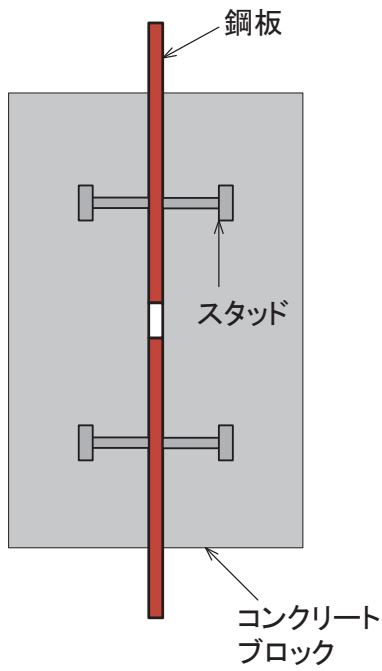
鋼コンクリート複合ラーメン橋剛結部

71

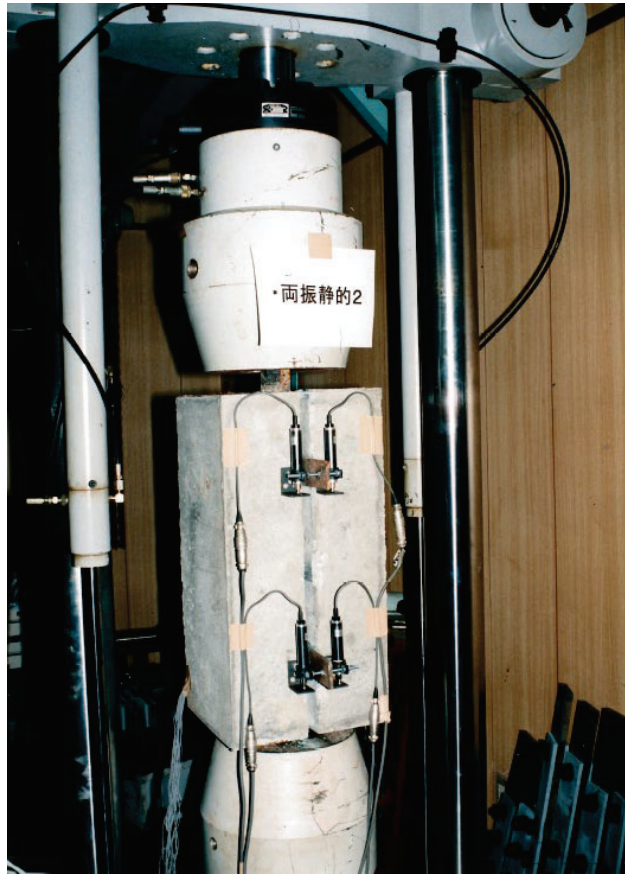


両振り試験体の概要

72

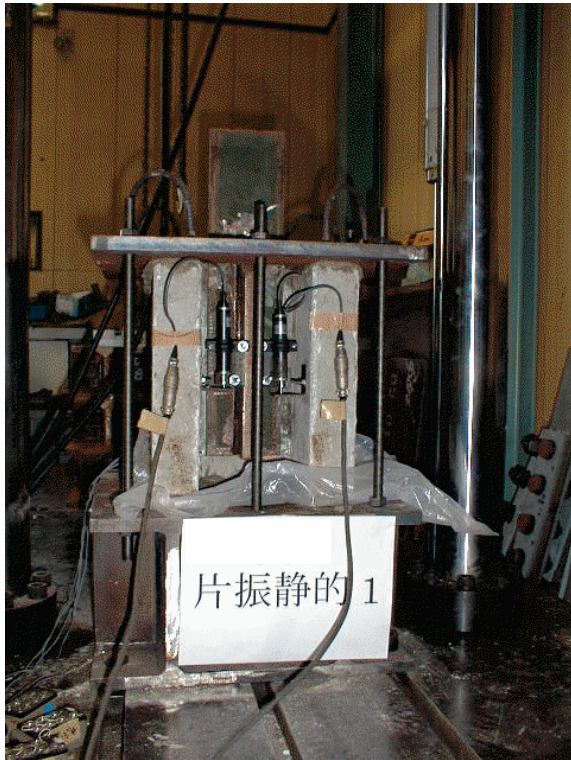


スタッドの両振り試験体

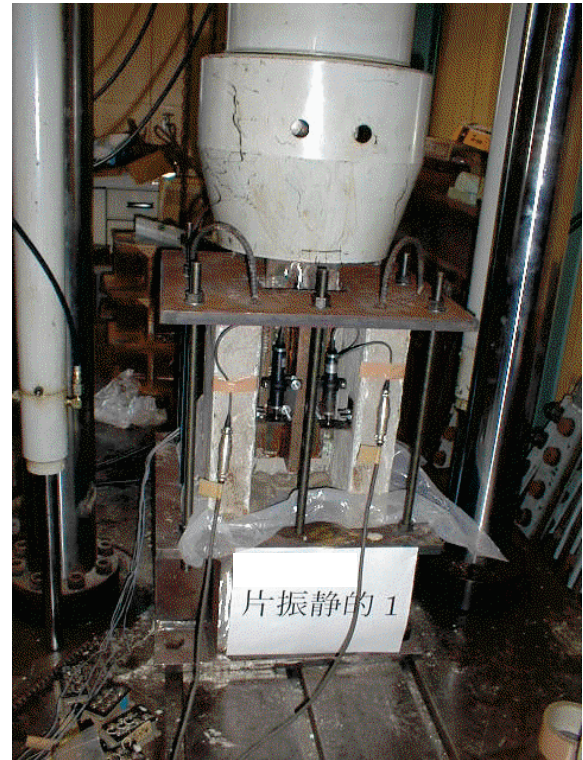


スタッドの両振り試験体の
疲労試験状況

73



試験体の設置状況

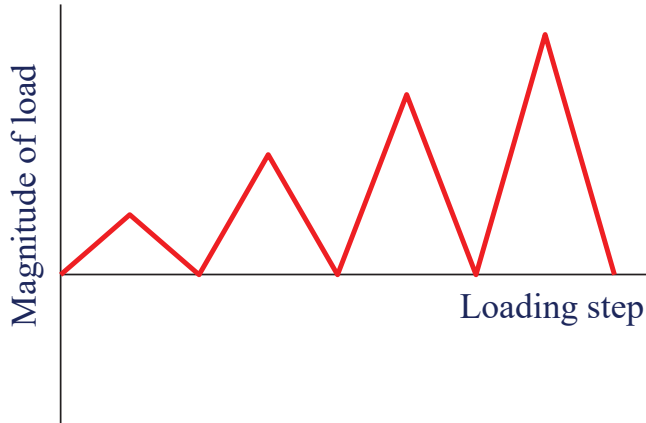


疲労試験機への設置状況

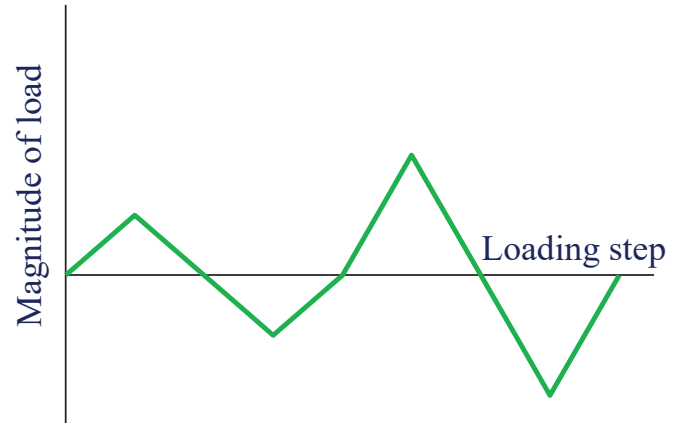
74

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

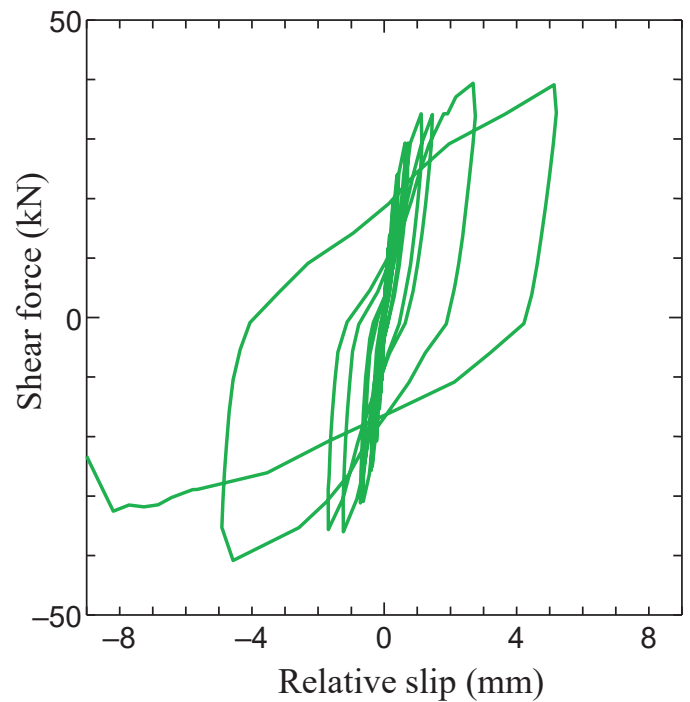
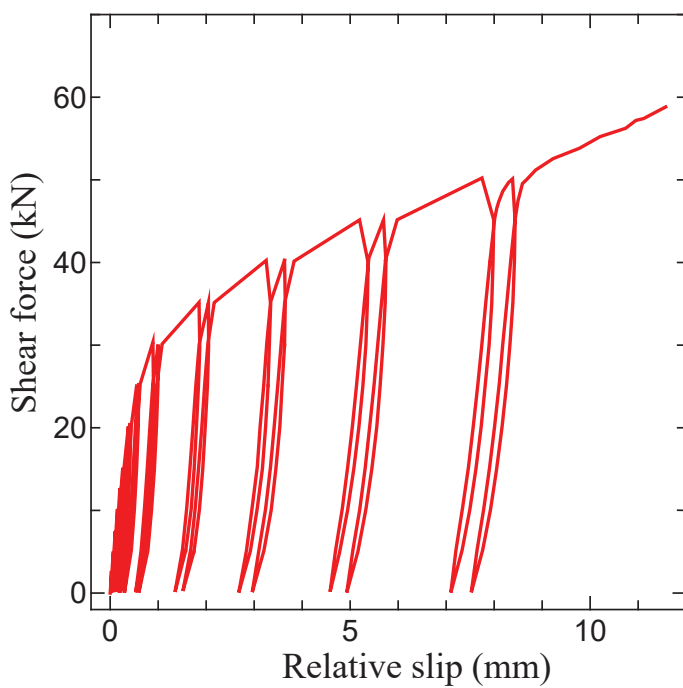


片側で漸増繰返し載荷



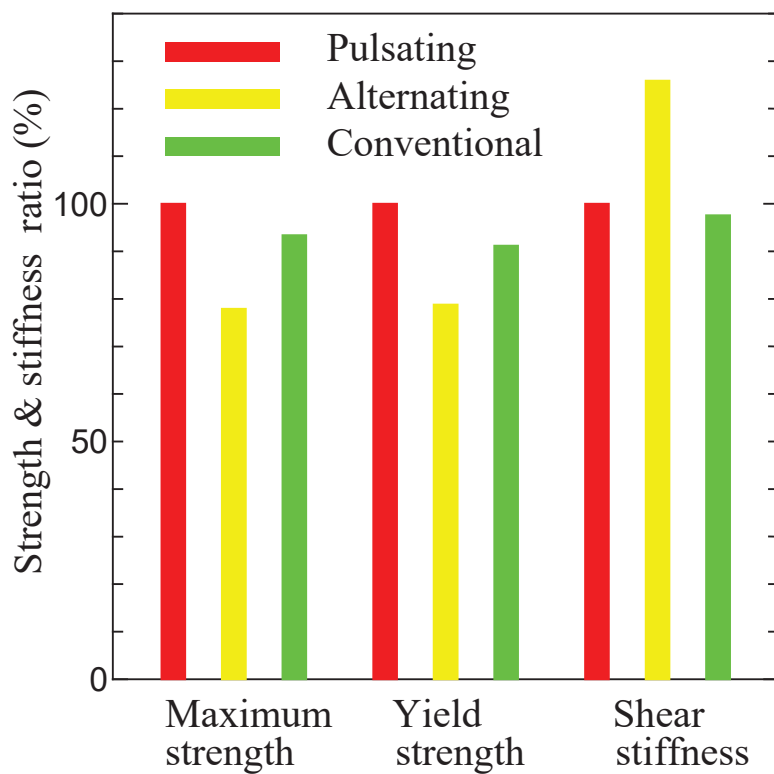
両振りで漸増繰返し載荷

75



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)

76



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)

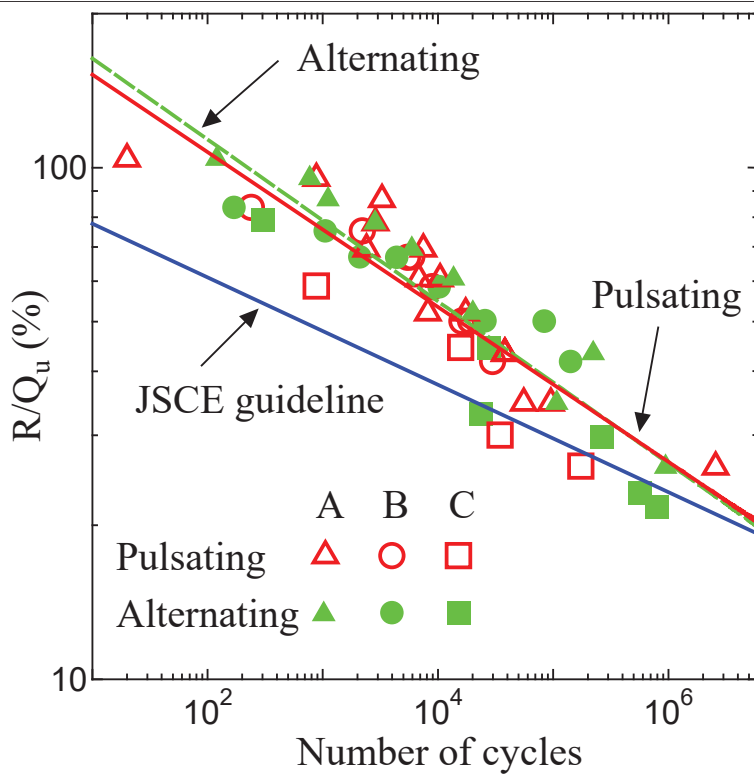
最大せん断力，降伏せん断力，ずれ剛性の比較

77

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

78



R/Qu と繰返し回数との関係

片振りおよび両振り载荷時の疲労寿命は同程度

79

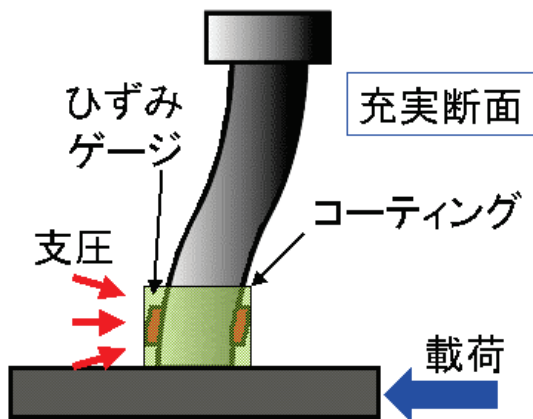
まとめ

- 簡易にスタッドの両振り载荷試験を行うことができる試験体を考案した。
- スタッドの静的および疲労片振りおよび両振り载荷試験を実施し、基本的な強度特性を確認した。
- スタッドの片振りと両振りの疲労強度は同程度であることを確認した。

80

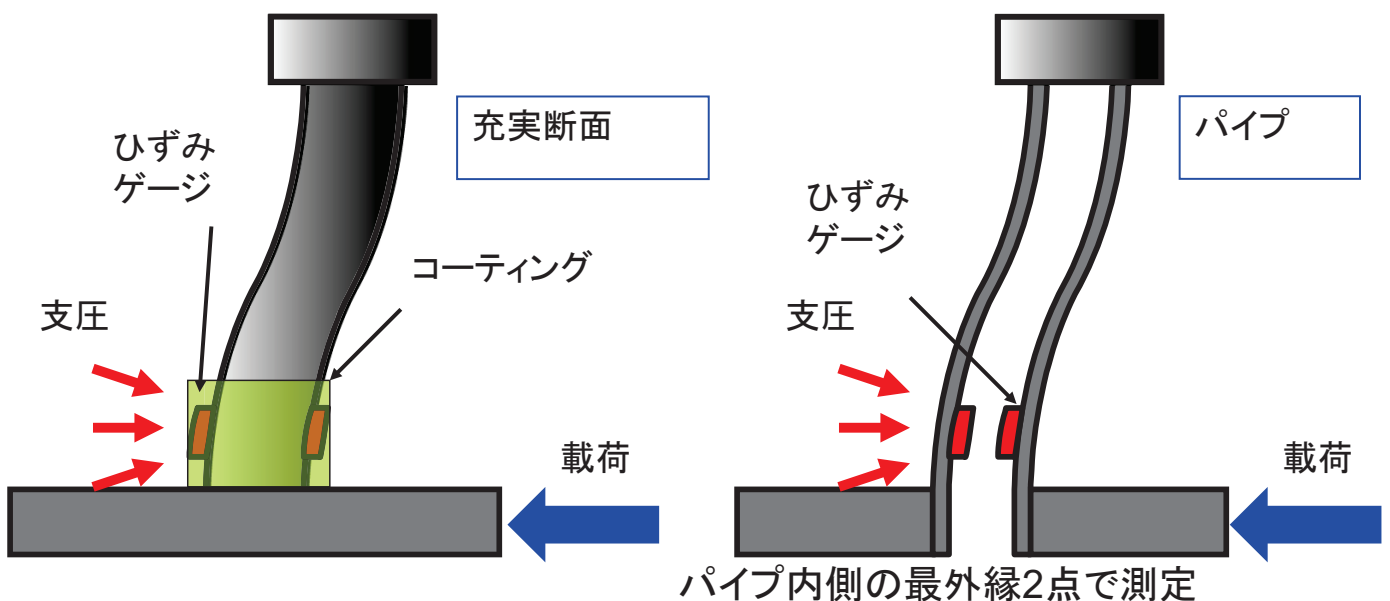
パイプスタッドによるスタッド基部のひずみ確認

- スタッド基部のひずみを知りたい。
- 充実断面のスタッドの基部にひずみゲージを貼付すると、コンクリートとスタッド間の支圧状態が通常と異なる。



81

パイプの内側にひずみゲージを貼付することにより、外側の支圧状態を変化させない。



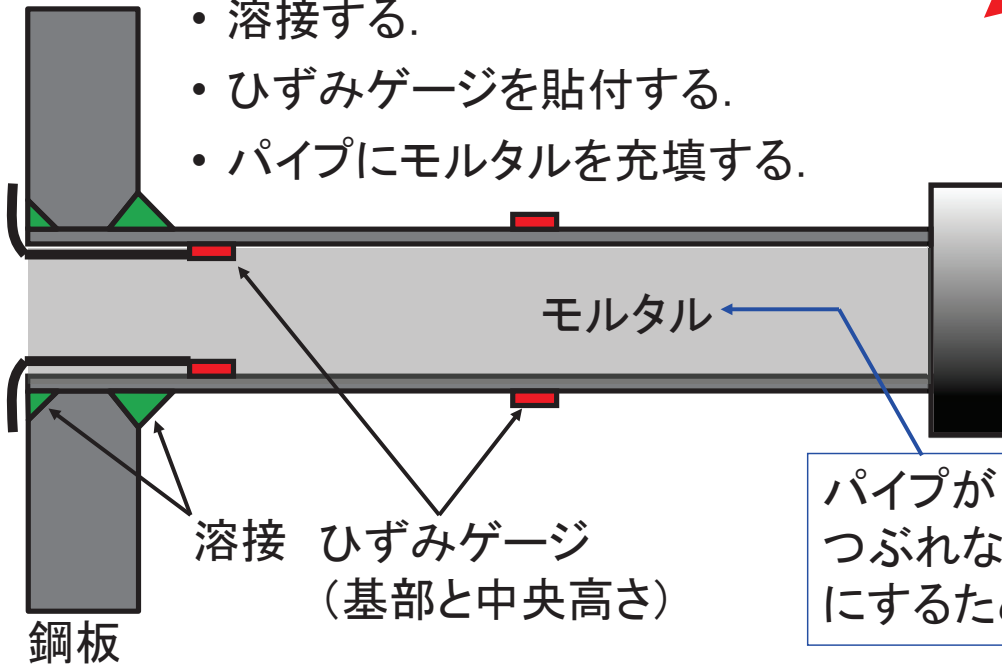
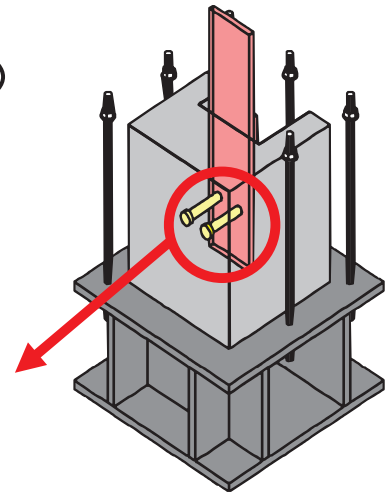
曲げひずみが算出可能

82

試験体概要

鋼板とスタッド

- 鋼板に切り欠きを入れる.
- パイプスタッドを差し込む.
- 溶接する.
- ひずみゲージを貼付する.
- パイプにモルタルを充填する.



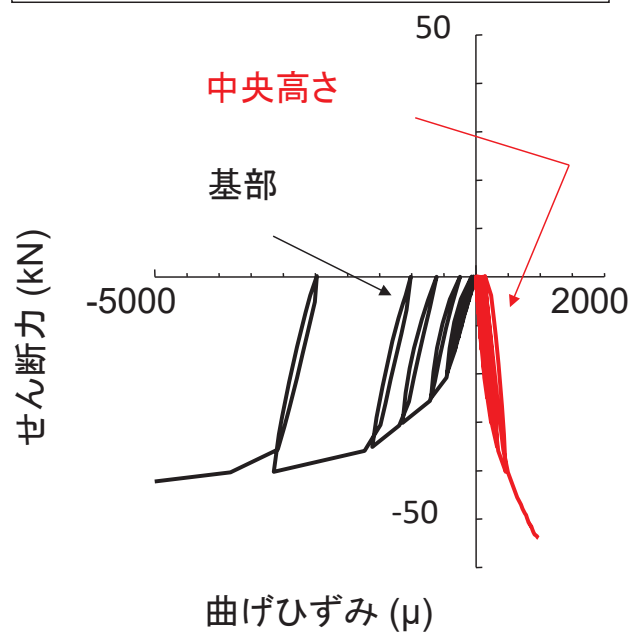
高さ120mm
外径21.7mm
内径17.9mm

スタッド基部と中央高さの違い

片振り載荷試験

$$\text{曲げひずみ} = \frac{(\text{上側ひずみ} - \text{下側ひずみ})}{2}$$

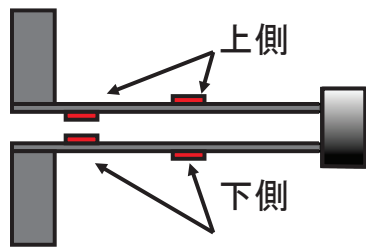
せん断力ー曲げひずみ関係



基部の方がひずみが大きく、基部と中央高さで正負が逆である。



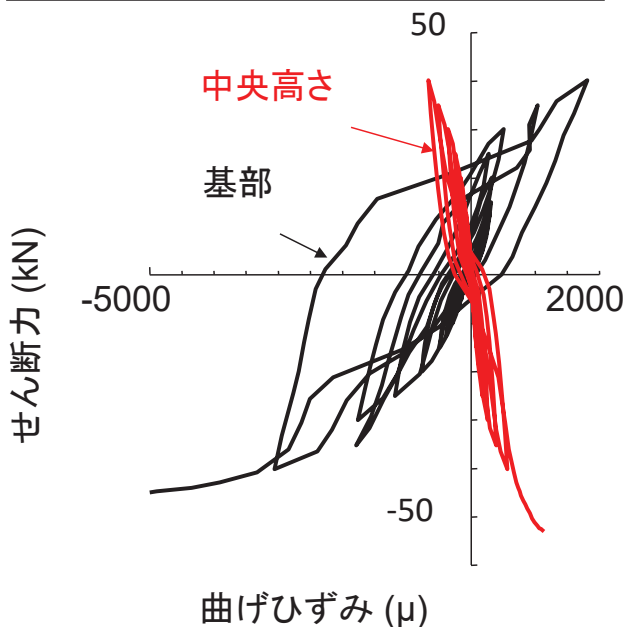
スタッドの基部と中央高さで逆曲げが生じている。



スタッド基部と中央高さの違い

両振り载荷試験

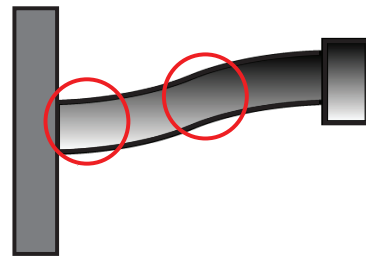
せん断力-曲げひずみ関係



基部の方がひずみが大きく、基部と中央高さで正負が逆である。



スタッドの基部と中央高さで逆曲げが生じている。



85

まとめ

- スタッド中央高さ位置に比較して基部のひずみは非常に大きいことを確認した。
- 地震作用を受ける位置にスタッドを用いる場合には、低サイクル疲労の影響を確認する必要がある。

86

最近の検討項目

- 床版取替えを念頭において、プレキャスト床版を用いる場合のスタッド配置について、紹介した解析方法にて検討をしている。