令和7年度 土木学会中部支部研究発表会

# 高強度鉄筋の引抜き試験における境界条件ならびに拘束鉄筋の影響評価

補修・補強工学研究グループ
B4 坂野 葉太
指導教員 中村 光 教授

## 研究背景・目的



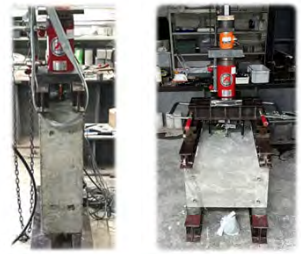
**鉄筋の定着**

コンクリート構造物の基本的な要求事項
設計時にはコンクリートと鉄筋の定着長さを十分に確保する必要性あり




**引抜き試験における現状の課題**

- ✓ 試験条件の不確実性：試験体形状や試験条件が定着性能に与える影響が十分に標準化されていない
- ✓ 高強度材料への対応：近年の高強度鉄筋使用ニーズに対し，高応力下での詳細な引抜き挙動の知見が不足



**研究目的**

高強度鉄筋の引抜き試験を対象にして，
載荷板の境界条件，帯鉄筋の拘束効果が定着性能に与える影響について評価

## 発表内容



1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論

## 発表内容



1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論

# 実験概要

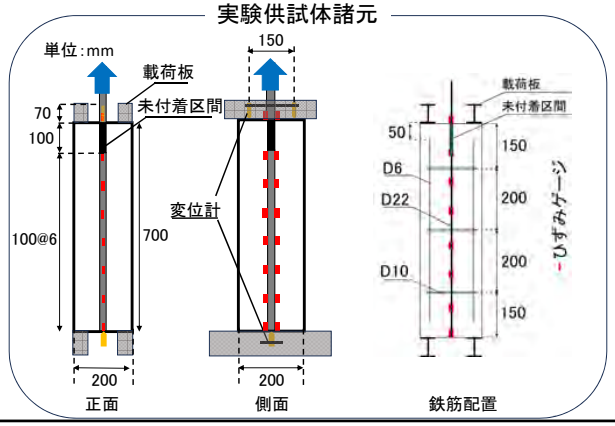


引抜き試験　鋼材の付着・定着性能を詳細に評価

載荷試験装置



実験供試体諸元

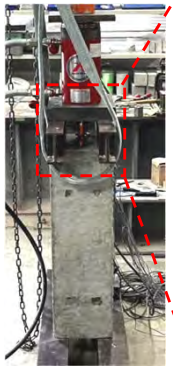



# 実験概要

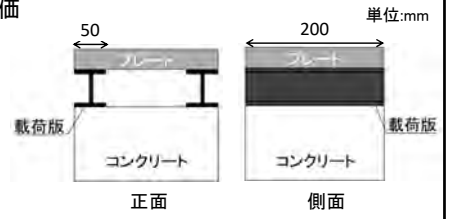


引抜き試験　鋼材の付着・定着性能を詳細に評価

載荷試験装置










損傷状況

実験結果

荷重載荷中に載荷版間の供試体上部から鋼材に沿う割裂ひび割れが発生し，そのひび割れが下部に進展していった．

# 発表内容



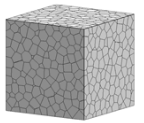
1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論

# 解析概要



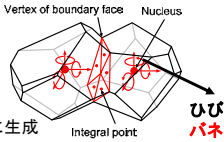
**3次元剛体バネモデル(3D-RBSM)**

コンクリート要素



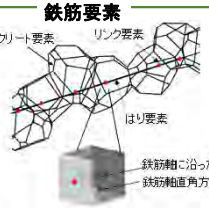
要素分割：**ボロノイ分割**によってランダムに生成

境界面に**バネ**を配置

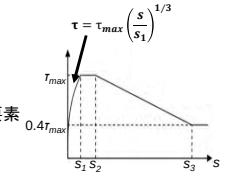



**ひび割れ**を**バネの破壊**で表現

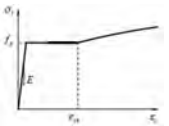
鉄筋要素




**鉄筋**：**はり要素**
**付着**：**長さ0のリンク要素**




付着応力-すべり関係



応力-ひずみ関係

# 発表内容

9

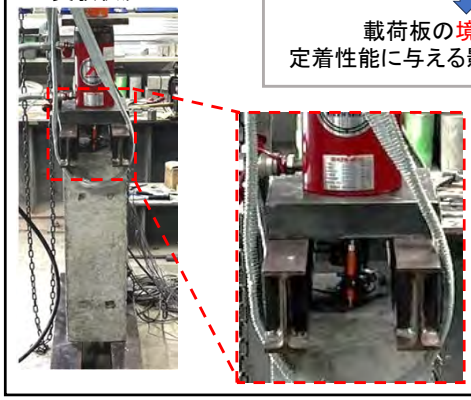

1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 補足
   - 3.3 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論


# 解析結果：境界条件の影響評価

10

## 載荷板の境界条件

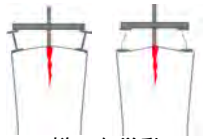
実験状況



実験での載荷版の境界条件が不明瞭

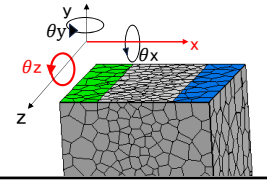
↓

載荷板の境界条件が
定着性能に与える影響について検討



様々な挙動

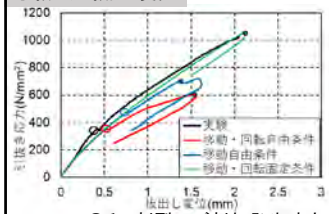
| | x | y | z | θx | θy | θz | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (a) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 自由 | 移動・回転自由条件 |
| (b) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 移動自由条件 |
| (c) | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 移動・回転固定条件 |




# 解析結果：境界条件の影響評価

11

引抜応力-抜出し変位

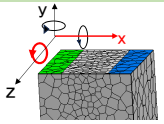



○印：割裂ひび割れ発生時点

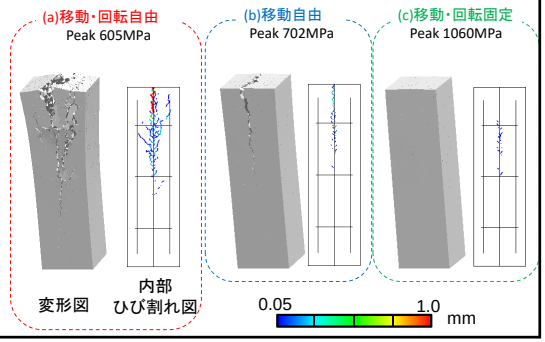
- ✓ 境界条件(c)では割裂ひび割れが発生せず，鋼材周りにのみひび割れが発生
  → 実験と異なる破壊性状を確認
- ✓ 境界条件(a)，(b)では，実験同様割裂ひび割れの発生・進展

→拘束度がより高い(b)のほうが，抜出し変位は抑制され，最大荷重も上昇

以降では境界条件(a),(b)のみ検討



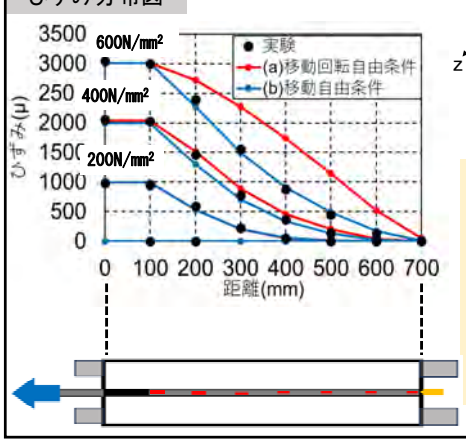

| | x | y | z | θx | θy | θz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (a) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 自由 |
| (b) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 |
| (c) | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 |

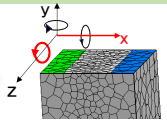



# 解析結果：境界条件の影響評価

12

ひずみ分布図




| | x | y | z | θx | θy | θz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (a) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 自由 |
| (b) | 自由 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 |
| (c) | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 | 固定 |

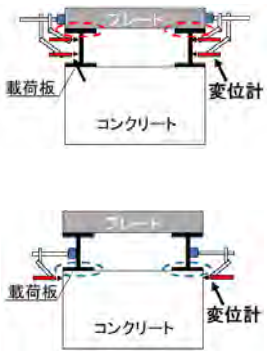
- ✓ (b)移動自由条件：
  解析値は実験値と同等
- ✓ (a)移動・回転自由条件
  引抜き応力が400MPa程度のとき，割裂ひび割れが発生し付着伝達挙動が大きく低下したことにより，その後ひずみが内部まで大きくなり実験値と大きな相違を確認

→境界条件の相違は付着伝達挙動にも影響
境界条件は(b)移動自由境界条件が妥当

## 補足：実験における載荷版付近の挙動

13

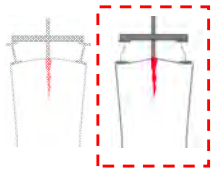





プレート-載荷版間および載荷版-コンクリート間の相対変位を計測

↓

載荷版の水平方向の移動・回転挙動を検討



様々な挙動

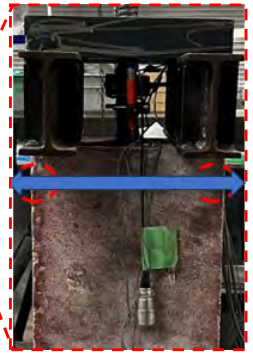
計測結果より，載荷版は回転せず，ウェブ部分が変形することで水平方向に移動する挙動を確認

→実験的観点からも境界条件(b)が妥当

## 補足：実験における載荷版付近の挙動

14

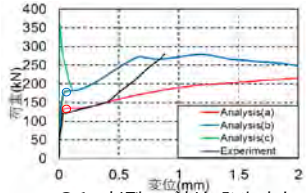




画像解析を用いて上端端部の変位を計測

↓

載荷版付近のコンクリートの挙動を評価




○印：割裂ひび割れ発生時点

計測結果より，ひび割れ発生後の荷重-変位関係において境界条件(b)が最も実験値と近い挙動を示した

→実験的観点からも境界条件(b)が妥当

## 発表内容

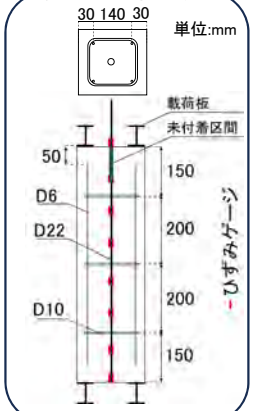
15

1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論

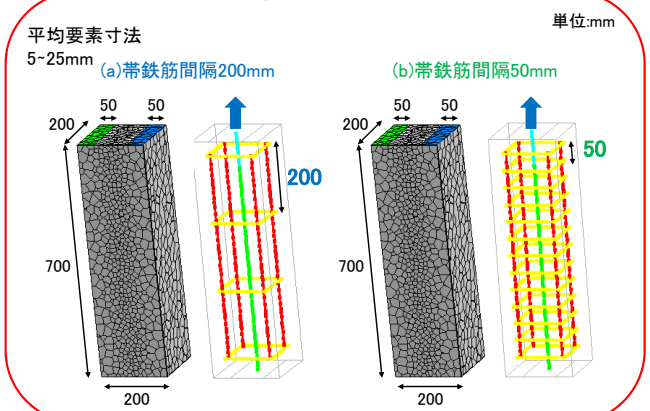
## 拘束鉄筋の影響評価

16

実験供試体概要



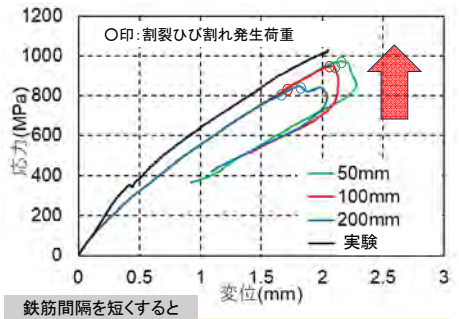

解析モデル



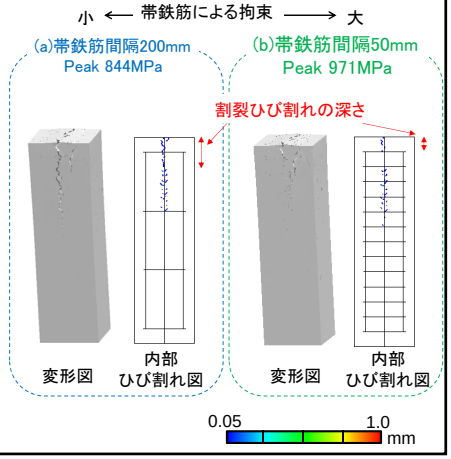
## 拘束鉄筋の影響評価

17

引抜応力-抜出し変位




小 ⟵ 帯鉄筋による拘束 ⟶ 大




鉄筋間隔を短くすると

- ✓ ひび割れ発生荷重および最大荷重が共に増加
- ✓ 割裂ひび割れ進展の抑制を確認

→割裂破壊を防止，定着性能向上に有効

- ✓ ただし最大荷重時は高応力下であるため，最大荷重が1000MPa近くになるとその後急激な応力低下が発生

## 発表内容

18

1. 実験概要
2. 解析概要
3. 解析結果
   - 3.1 境界条件の影響評価
   - 3.2 拘束鉄筋の影響評価
4. 結論

## 結論

19

1. 鉄筋の実構造物の部分モデルを用いた定着性能試験では，載荷版の境界条件によって付着伝達挙動や破壊性状が大きく変わり，定着性能を検討する際は境界条件にも留意する必要性が示唆された．
2. 帯鉄筋の配置は，割裂破壊を防止し定着性能向上に有効であることが示された
3. 高強度鉄筋を用いた場合，高応力下で割裂破壊が生じやすくなるので，使用時には実験・解析での定着性能の確認を行うことが望ましいと考えられる

20

ご清聴ありがとうございました