2025年12月10日
構造工学研究会



コンクリート構造物の構造細目を「形式知」とするために

名古屋大学工学研究科
土木工学専攻
教授　中村光

講演内容



- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- 重ね継手部の性能評価
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- 繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価

13 章 鉄筋コンクリートの前提

13.1 一 般

13.2 鉄筋コンクリートの基本

鉄筋コンクリートは，鉄筋とコンクリートとの間で付着が確保され，かつ，鉄筋は，コンクリートで防護されていなければならない．

13.3 最小鉄筋量

鉄筋コンクリートには，鉄筋コンクリート構造の挙動がじん性を有する挙動となるように，最小鉄筋量以上の鉄筋を配置しなければならない．

13.4 鉄筋の定着

鉄筋の強度を十分に発揮させるために，鉄筋端部がコンクリートから抜け出さないよう，コンクリート中に確実に定着しなければならない．

13.5 鉄筋の継手

鉄筋の継手は，継手を含む部材が所要の力学特性を有するために，鉄筋の種類，施工の方法，荷重の状態，および施工の信頼性等を考慮して設計強度等を定めなければならない．

7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目

1 章 総則

2 章 鉄筋コンクリートの前提

2.1 かぶり

2.2 鉄筋のあき

2.3 鉄筋の配置

2.3.1 軸方向鉄筋の配置

2.3.2 横方向鉄筋の配置

2.3.3 ねじり補強鉄筋の配置

2.3.4 ひび割れ制御のための鉄筋の配置

2.4 鉄筋の曲げ形状

2.5 鉄筋の定着

2.5.1 一般

2.5.2 標準フック

2.5.3 機械式定着

2.5.4 鉄筋の定着

2.5.5 長軸方向鉄筋の定着

2.5.6 横方向鉄筋の定着

2.5.7 定着破壊に対する照査

2.6 鉄筋の継手

2.6.1 一般

2.6.2 軸方向鉄筋の継手

2.6.3 横方向鉄筋の継手

構造細目の役割



構造計画

↓

構造詳細の設定

↓

照査

↓

施工

☑ 用心のための鉄筋

- 作用（種類，大きさ，組合せ）の不確定性
- 部材の破壊メカニズム未解明
- 施工精度の不確定性
- 構造計算の不確定性
- 予想外の作用

☑ 照査の前提

- 計算方法、配力鉄筋の役割

☑ 施工の品質確保

- 打込みの確保

→ 設計，施工の前提や品質に関係

異形鉄筋の利用



- 大正時代の初期にアメリカから輸入され、相当量が使われていた。
- 関東大震災で、異形鉄筋を使ったRC建築物が大きな被害
- 1953年：JIS G 3110異形鉄筋
- 1953年に建設省通達「異形鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造について」

「最近欧米においては、普通丸鋼に変わって、異形丸鋼が多く使用され、我が国においても戦後、相当量輸出用としてこれを製造しているので、国内の供給力には不足はないこと、建築物の構造耐力上の安全性に関する大規模な実験が行われ、異形鉄筋の形状及び品質ならびに鉄筋として用いた場合の構造耐力に関する研究が進み、我が国においても実用の域に達したと認められること、**異形鉄筋の使用によって、鉄筋継ぎ手のフックが省かれ、鉄筋の使用量、加工手間が節減されること、コンクリートの打込みが容易になり、施工上の欠点をなくすことができる**こと、価格も普通丸鋼と殆ど変わらないことから、今後RC造の建築物に異形鉄筋が多くなると思われる」と記述。

異形鉄筋の使用量：1950年代約5％、1960年代前半約20%、1960年代後半約40%、70年代前半約70％

構造細目の取扱いの現状



かぶり

昭和15年版のコンクリート標準示方書から「鉄筋直径以上」という表現が記述（丸鋼が主流の時代）（86年前）

標準フック

昭和6年版のコンクリート標準示方書から引張鉄筋の端部にフックを設けて定着することを基本としている。現行の示方書の標準フックの規定は，半円形フック，鋭角フックは昭和42年版から，直角フックは昭和49年版同様の記述が導入。（約55年前）

継手

昭和6年版のコンクリート標準示方書から。（95年前）

相互にずらし一箇所に置かないこと。応力大の位置に用いないこと。鉄筋直径の30倍以上重ね合わせ端部を半円形フックにし、0.9mm以上の鋼線で結束すること。（重ね継手を対象）

「生産性および品質の向上のためのコンクリート構造物の設計・施工研究小委員会」



委員長　石橋 忠良　JR東日本ｺﾝｻﾙﾀﾝﾂ(株)
幹事長　中村 光　名古屋大学

生産性を向上させるための具体的な課題と解決方法が提案

1章　設　計（28件の提案）
2章　施　工（13件の提案）
3章　プレキャストコンクリート（15件の提案）
4章　発注，契約，その他（7件の提案）

2016年12月に発行

［課題と提案　1章 設計］



1章　設計（28件の提案）

1.1　設計時3次元で配筋が可能なことを検証する

1.2　設計段階で施工性に配慮した配筋とする

1.3　躯体形状を合理化し，鉄筋・型枠組立，コンクリート施工をシンプルにする

1.4　新材料・新工法を活用する環境を整備する

1.5　発注の設計指針類および示方書の標準での合理的な構造細目を整備する

［課題と提案　1章 設計］



1.5　発注の設計指針類および示方書の標準での合理的な構造細目を整備する

（定着）

1.5.1　軸方向鉄筋の機械式定着を活用するための規定を検討，整備する

1.5.2　主筋の定着長内での折曲げ仕様の規定を検討，整備する

1.5.3　鉄筋の曲げ形状の合理的な仕様規定を検討，整備する

1.5.4　せん断補強鉄筋の直角フックの適用可能範囲を明示する規定を検討，整備する

1.5.5　薄いスラブの定着長が1.3倍となる規定を見直す

（継手）

1.5.6　場所打ち杭の帯鉄筋にフレア溶接を活用するための規定を追加する

1.5.7　溶接閉鎖形帯鉄筋を活用できる規定を追加する

1.5.8　重ね継手の太径鉄筋での使用制限の規定を追加する

1.5.9　合理的な重ね継手の規定を検討，整備する

1.5.10　あき重ね継手の規定を検討，整備する

（高強度鉄筋）

1.5.11　軸方向鉄筋への高強度鉄筋を活用するための規定を検討，整備する

1.5.12　高強度せん断補強鉄筋を活用するための規定を検討，整備する

（その他）

1.5.13　部分的なかぶり不足対策に防食鉄筋を活用できる環境を整備する

1.5.14　面部材でのせん断補強鉄筋の最大配置間隔を検討，整備する

1.5.3 鉄筋の曲げ形状の合理的な仕様規定を検討，整備する

(1)課題と提案

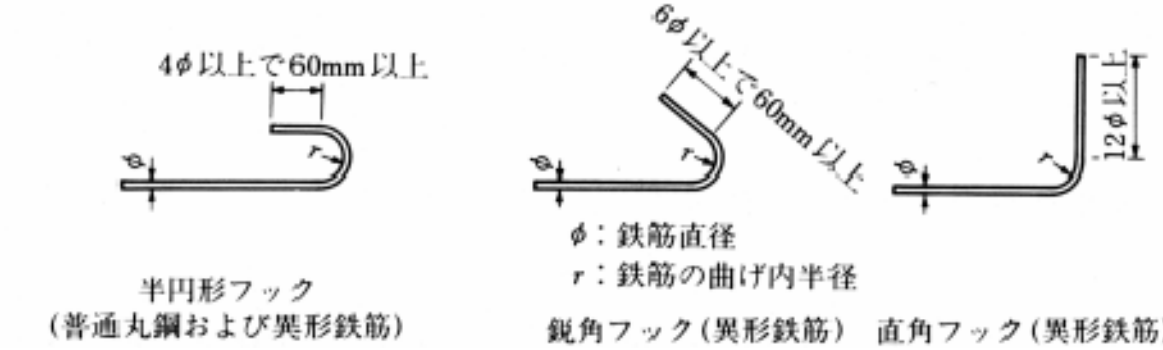
◇課題

・コ示[設計編：本編]鉄筋の曲げ形状
鉄筋の品質に与える影響やコンクリートに生じる支圧力の大きさを考慮して曲げ形状と配置方法を決定できる.

・しかしながら、曲げ加工部のコンクリートに作用する支圧力の算定方法や支圧力の限界値が示されておらず、コ示[設計編：標準]に示される仕様規定に従っている.

◇提案

・鉄筋の性能を損なわない範囲で，鉄筋の曲げ形状を自由に決定できる環境を整備する.



1.5.10 あき重ね継手の規定を検討，整備する

(1)課題と提案

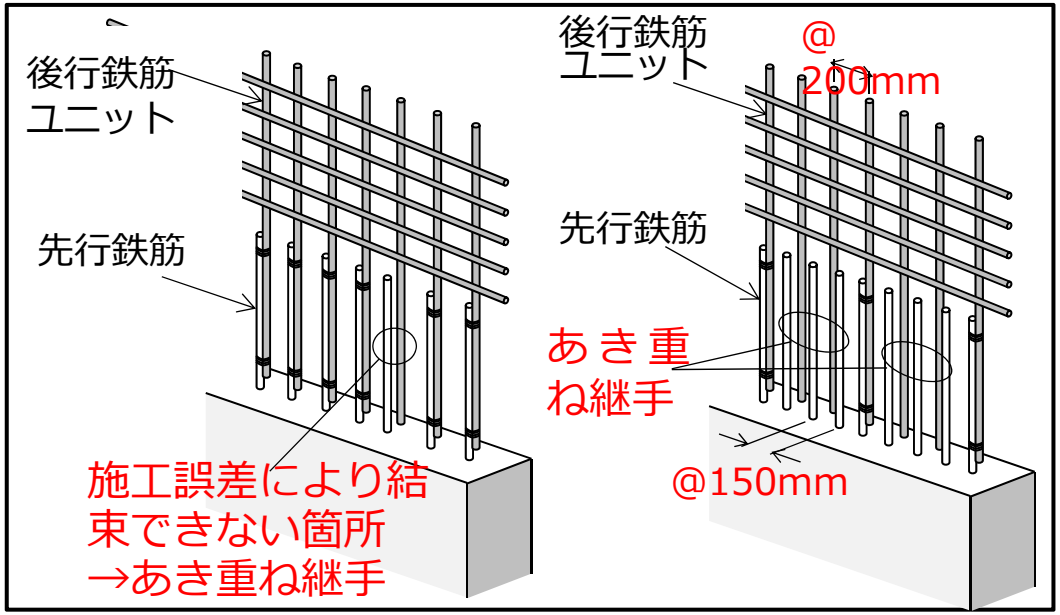
◇課題

・建築学会やＡＣＩでは，鉄筋間に隙間を空けて配置する「あき重ね継手」も通常の重ね継手と同様に有効であると認められている．

・しかし，現状では土木系の示方書や指針にあき重ね継手の規定がなく，「重ね継手は鉄筋同士を密着させて繋ぐもの」との認識とあいまって，あき重ね継手が認められにくい状況が生じている．

◇提案

・コンクリート工の生産性向上の観点から，あき重ね継手の規定を検討，整備することを提案する．



構造細目の合理化



暗黙知 → **形式知**

仕様規定的内容 → 照査可能な内容

問題が生じていないことを変更するのは難しい？

- ✓ 実験値の積み上げではなく、力学挙動の明確化
- ✓ 性能評価を可能にする必要

土木学会　コンクリート委員会
部材詳細の設計と照査に関する研究小委員会

第1期：2018年6月から2年間
第2期：2021年4月から3年間

委　員　長：中村光（名古屋大学）
副委員長：牧剛史（埼玉大学）
幹　事　長：渡辺健（鉄道総合技術研究所）

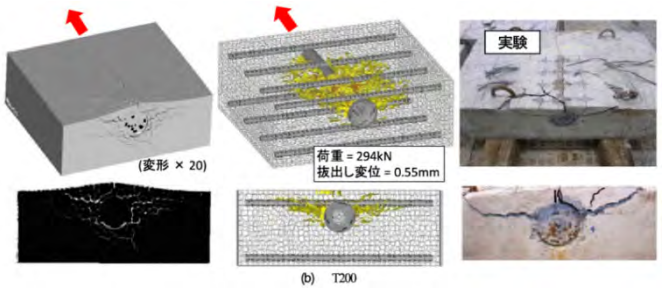


構造細目の照査化の動き

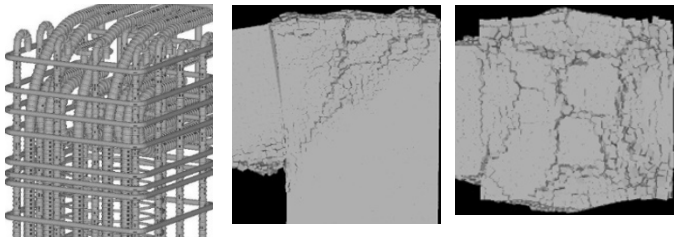
2022年制定　土木学会コンクリート標準示方書
鉄筋コンクリートの前提

【解　説】

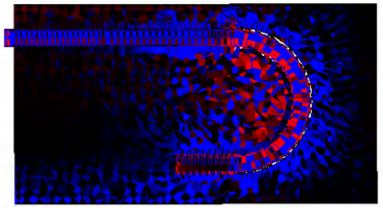
- ✓ 鉄筋に関する細目の確認方法として，「微細要素を用いた構造解析」を追記
- ✓ 各種の解析例を改訂資料に掲載

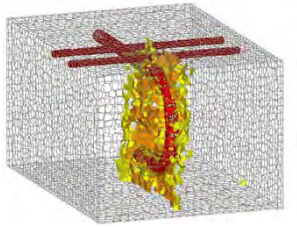


機械式定着の解析例

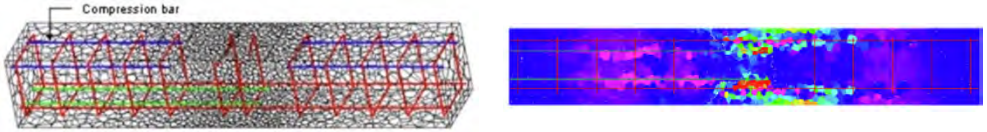


部材接合部の解析例





フックの解析例



重ね継手の解析例

将来的に「構造細目の照査化」を目指す

講演内容

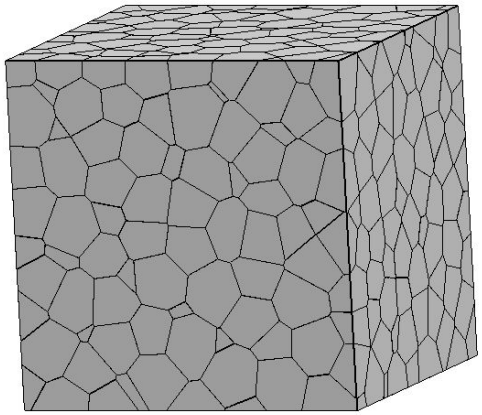


- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- 重ね継手部の性能評価
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- 繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価

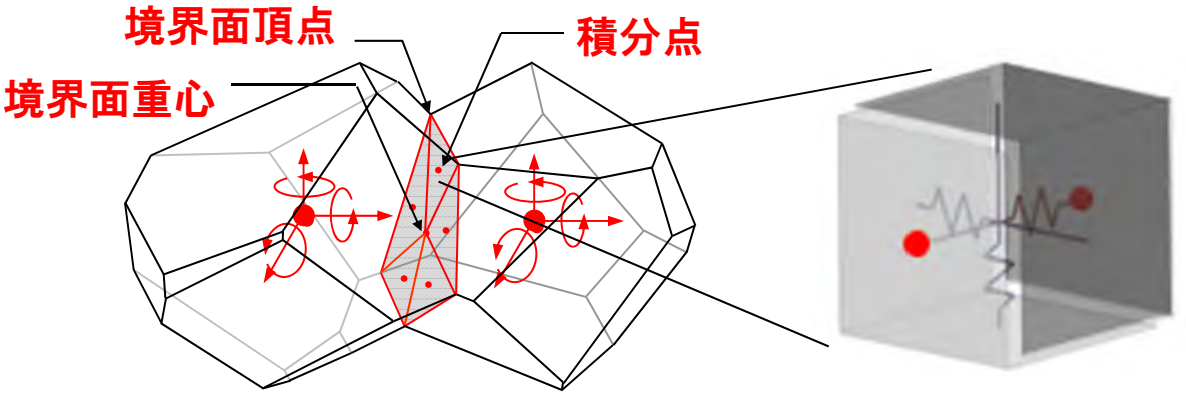
剛体バネモデルとは



- ✓ 剛体要素と要素間バネ（垂直とせん断バネ）で対象を離散化する手法
- ✓ 東京大学の川井忠彦先生が1977年に塑性変形や破壊の本質はすべりや剥離にあるとし、固体や構造物は破壊 や崩壊状態に達するといくつかのブロックに分離するか、リンク機構を形成し剛体運動を生じると考え提案した極限解析手法。
- ✓ カリフォルニア大学デービス校のBolander教授と山梨大学の斉藤成彦教授が、1998年にランダム要素分割であるVoronoi分割と組み合わせ、比較的小さい要素を使用して、ひび割れ進展挙動を正確に評価。



Voronoi分割

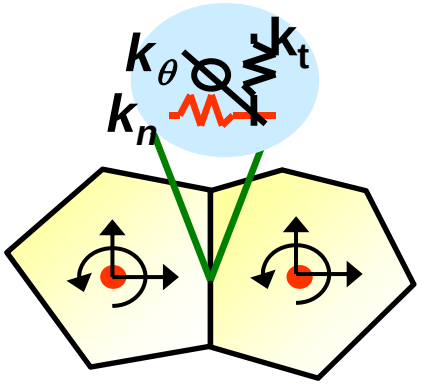


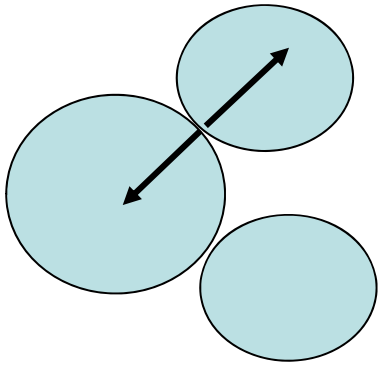
要素間力学モデル

剛体バネモデルとは



個別要素法DEM（Distinct　Element Method, Discrete　Element Method）の一種





RBSM

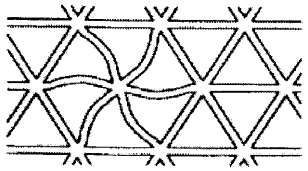
・面で接触を考える
・接触面が固定されるためひずみの概念が利用可能

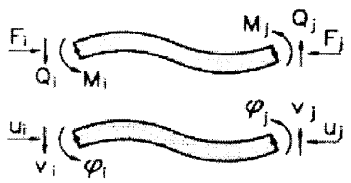
DEM

・点で接触を考える
・接触点で力がやりとりされる（力のモデル化？）
・点接触のため再接触問題が容易に解ける

ネットワークモデル

・トラスモデル（軸力のみ）
・Latticeモデル（軸力、曲げ、せん断）
　ただし、曲げとせん断は依存
・RBSM（軸力、せん断、（曲げ））ただし、軸力とせん断は独立


(a)

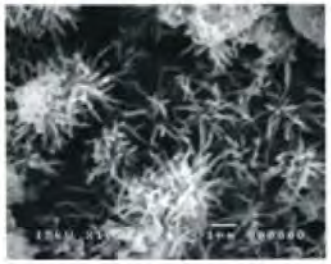


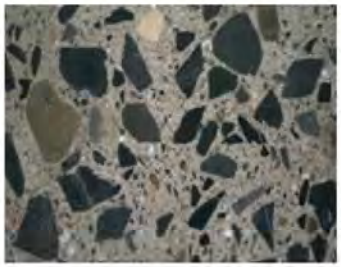
(b)

剛体バネモデルの基本コンセプト

10^{-6}m　10^{-4}m　10^{-2}m　10^{-1}m　10^{0}m　10^{1}m　10^{2}m

対象
（現象）


セメントの水和生成物


コンクリートの断面


コンクリート部材（橋脚）


コンクリート構造物
（エクストラドーズド橋）

- ✓ 骨材寸法程度の要素寸法と材料特性で、部材挙動を再現
- ✓ 骨材界面で進展するひび割れを表現

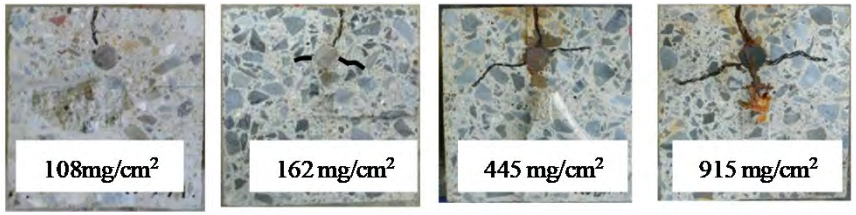
メゾスケールモデル
（微細要素を用いた構造解析）

剛体バネモデルのメリット

1. ひび割れの評価

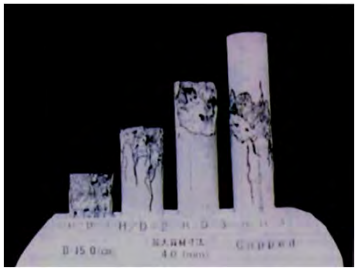
✓ ひび割れを直接的に、かなりの精度で評価可能。ひび割れの評価は、ひび割れに関する耐久性や安全性の問題の評価につながる。





2. 破壊の評価

✓ 破壊は、不連続な状態の集合体。破壊の評価は、シビアアクシデントの評価や復旧性、構造システム全体の冗長性評価につながる。



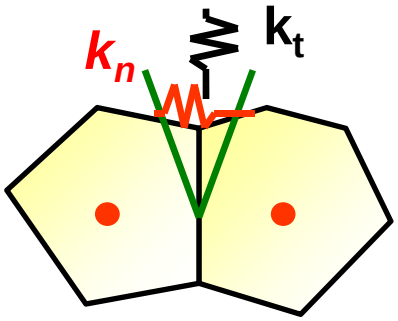


3. 付着の評価

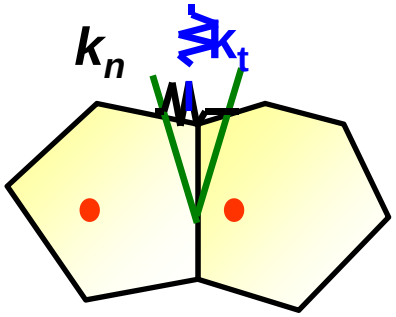
✓ 鋼材の節からの3次元的なひび割れを簡単に評価可能。付着・定着・継手に関する問題の評価は、生産性向上につながる。

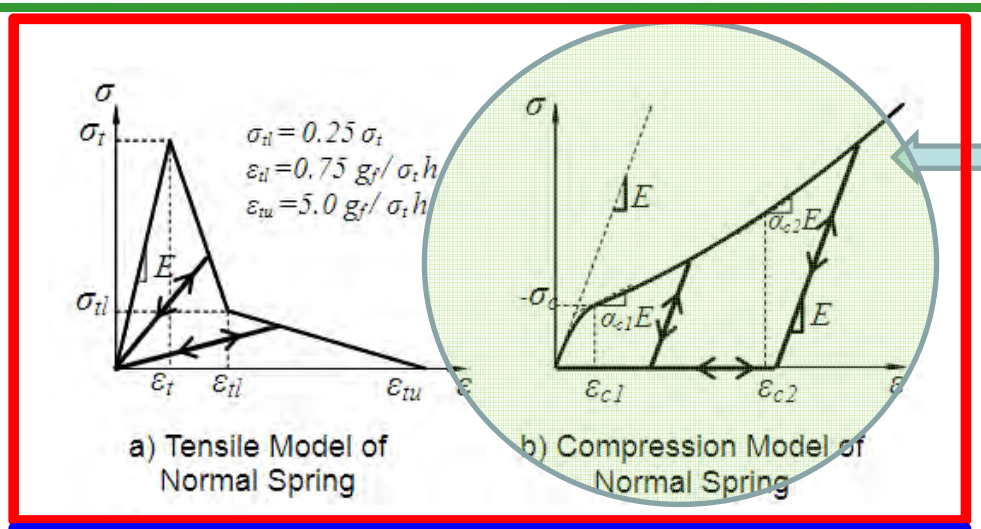
コンクリートのモデル化

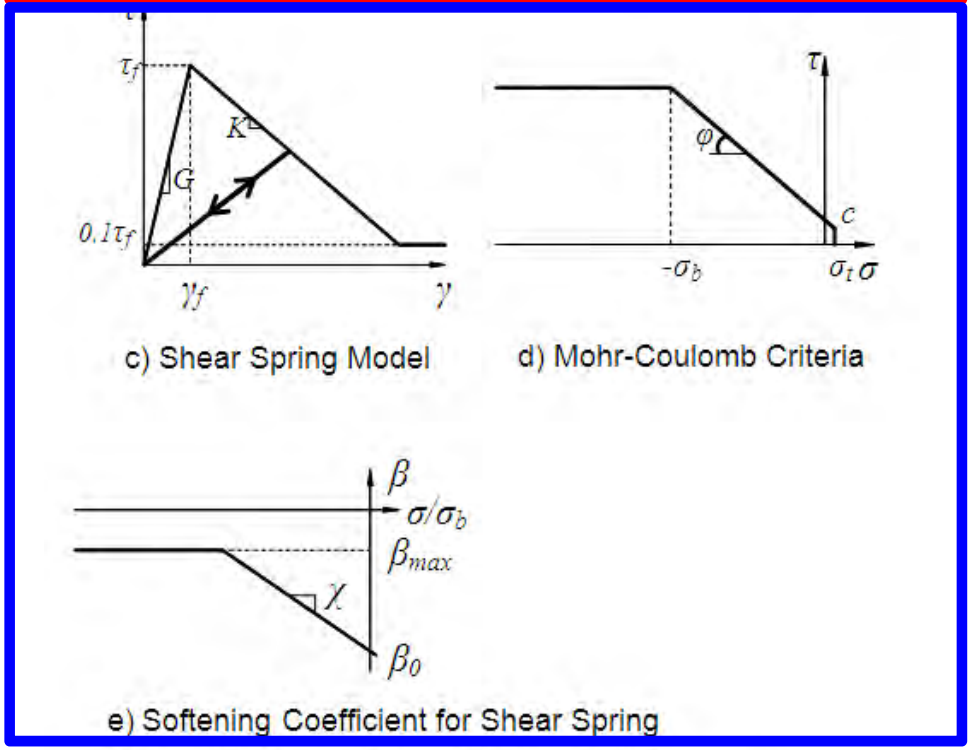
Normal spring



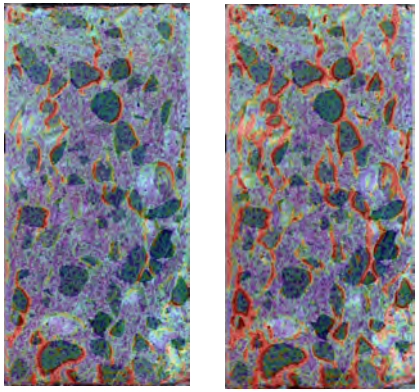
Shear spring







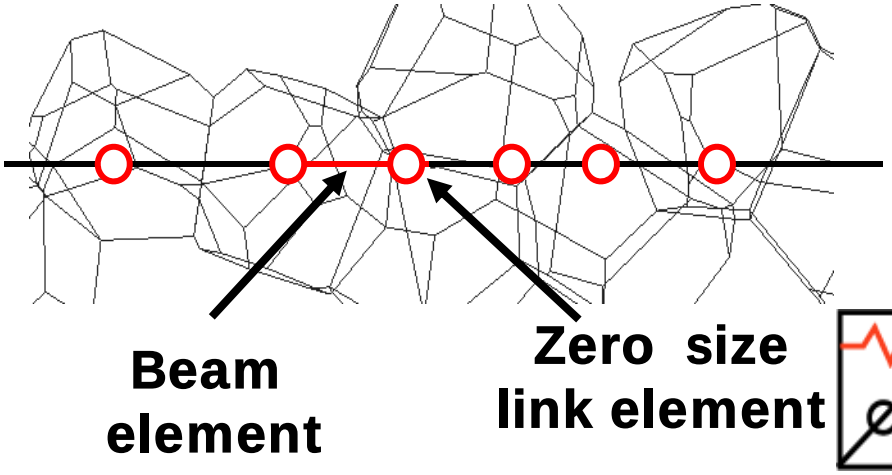
圧縮軟化は
モデル化しない



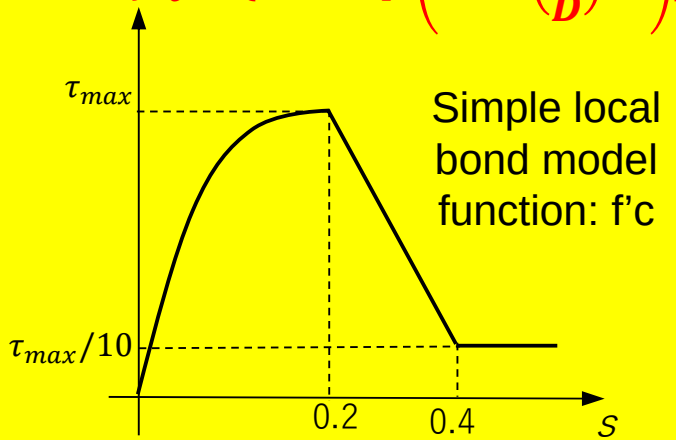
圧縮破壊はコンクリート材料の圧縮破壊ではない.

圧縮破壊は、ひび割れとひび割れ面のせん断すべりの集合体

鉄筋のモデル化



$$\tau = 0.9 f'_c{}^{2/3}\{1 - exp\left(-40\left(\frac{s}{D}\right)^{0.5}\right)\}$$



Simple local bond model function: f'c

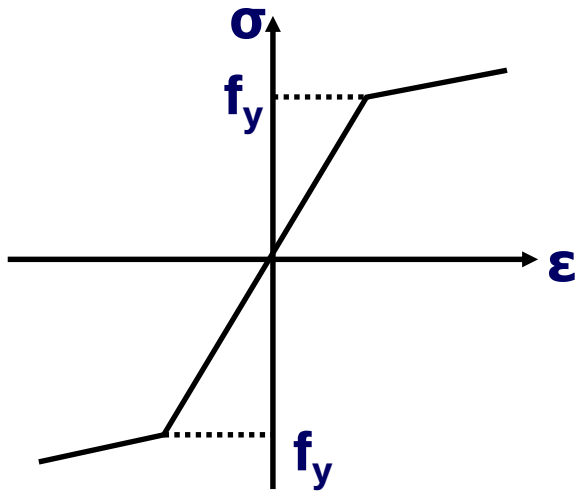
Bond stress-slip model

Reinforcement : beam element

beam nodes : attach to the concrete particles through zero-size link element

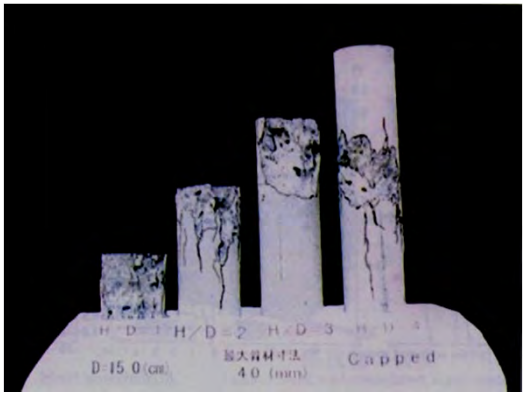
stress strain relationship : bi-linear model.

Bond property: introduced into the shear spring of linked element

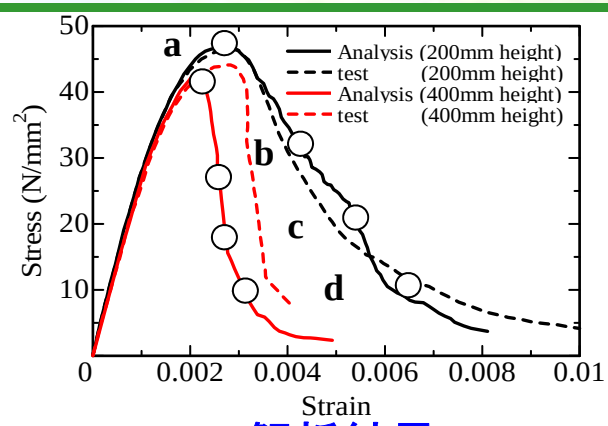


Stress strain relationship

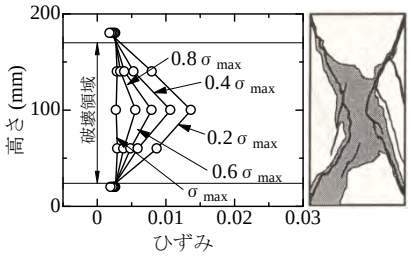
要素レベルの挙動（一軸圧縮破壊）

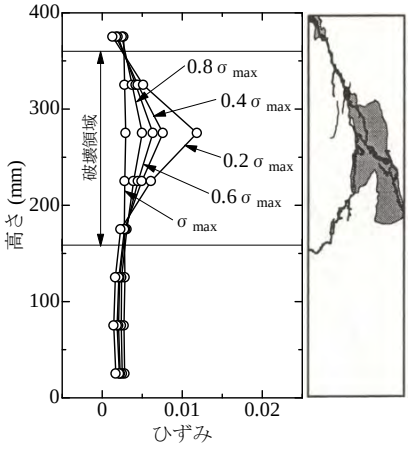


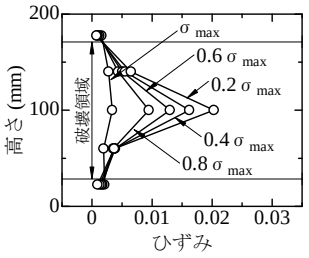
実験結果

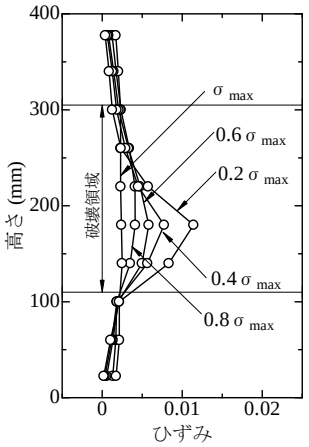


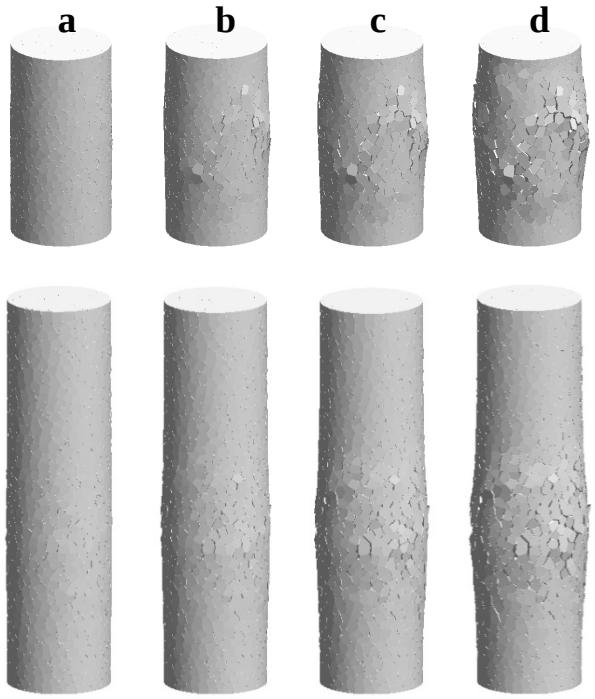
解析結果







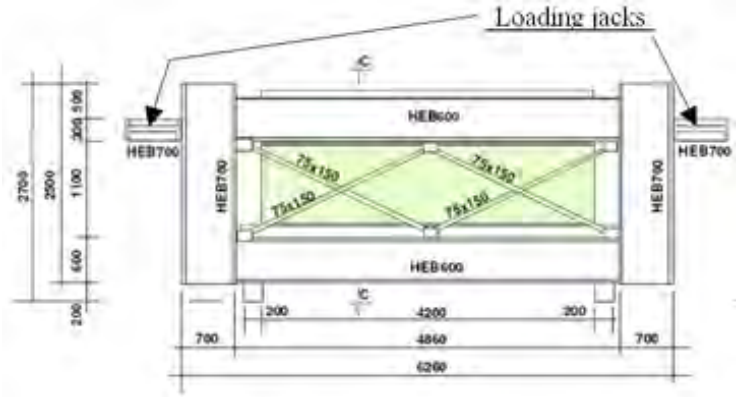


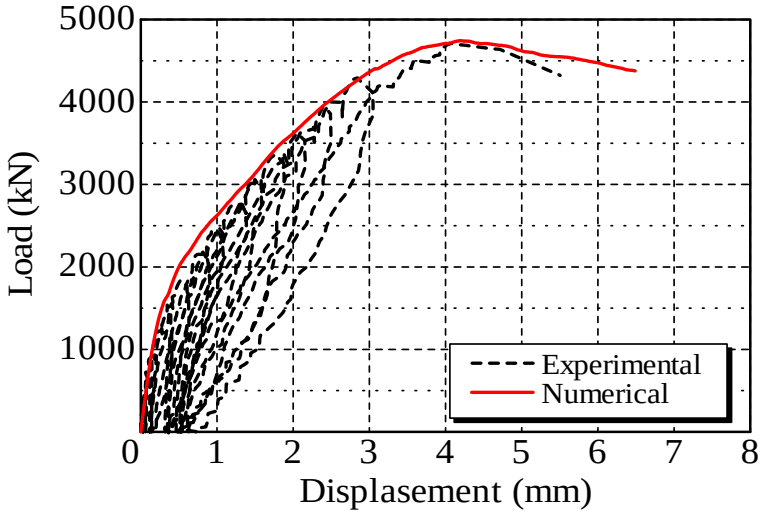


（2008年：土木学会論文集）

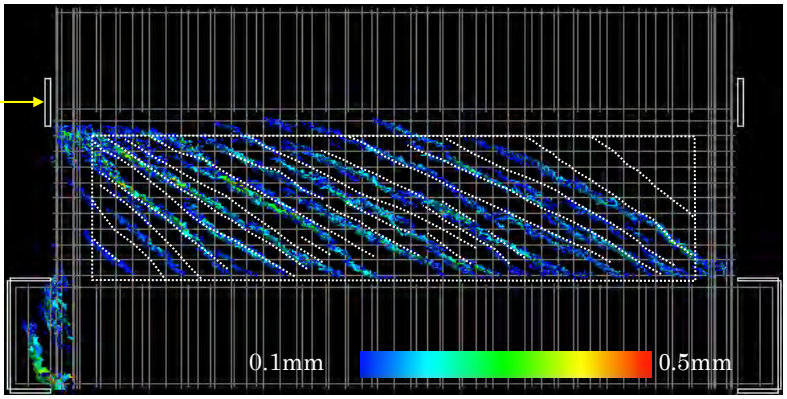
国際ベンチマーク解析ConCrack (2011)

The test were conducted by the national French project “CEOS.fr” The tests aim to evaluate current cracking assessment method by the blind benchmark

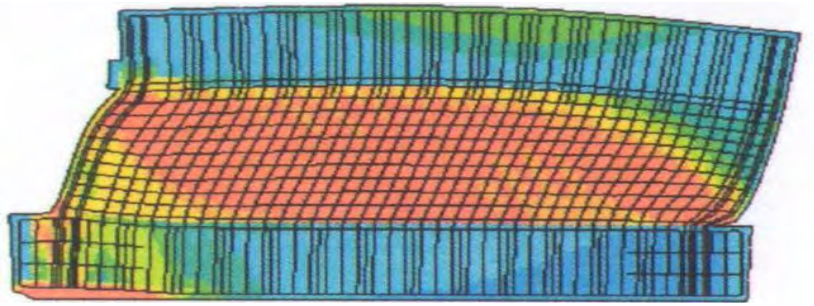




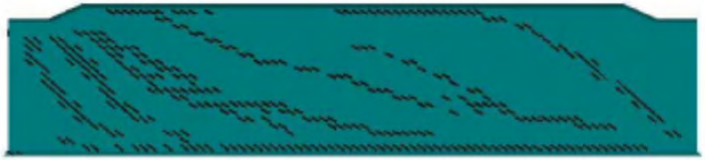
荷重変位関係



Crack pattern at 4200kN
(Result of RBSM, CONCRCK)

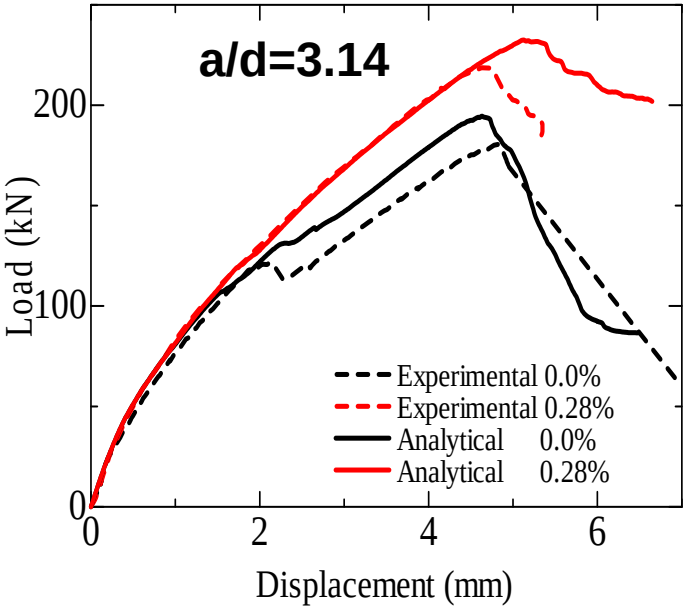


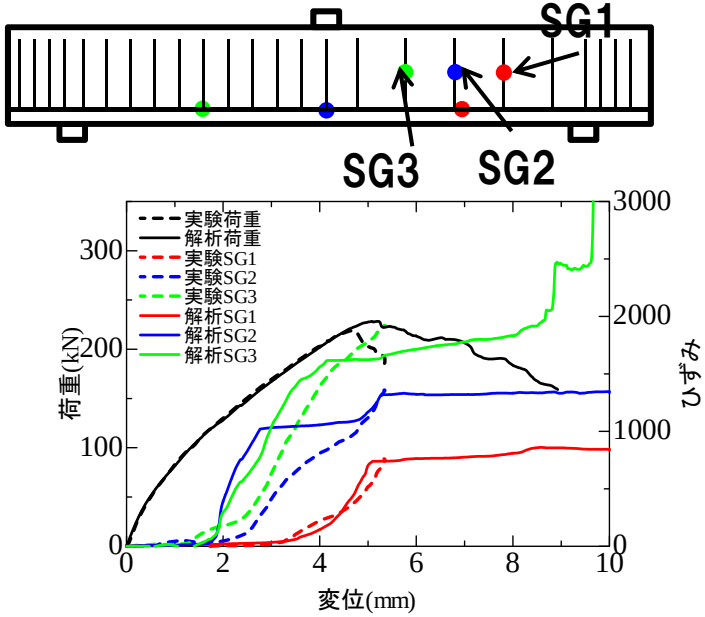
Crack pattern at Max. load
(Result of DIANA, C. Damoni, CONCRCK)

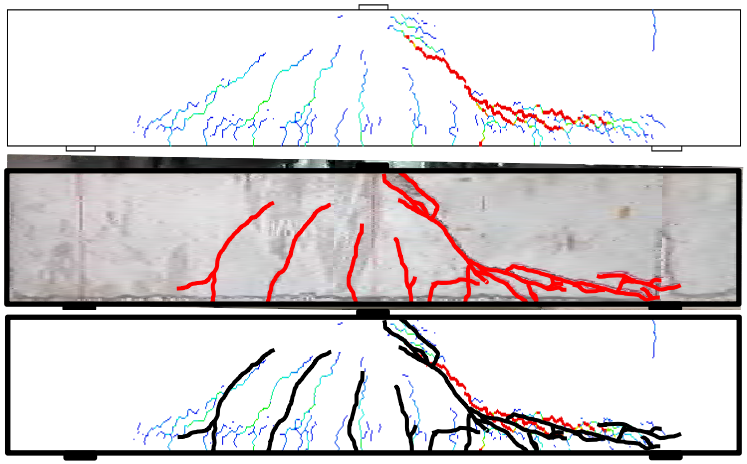


Crack pattern at Max. load
(Result of ATENA, V. Chernenka, CONCRCK)

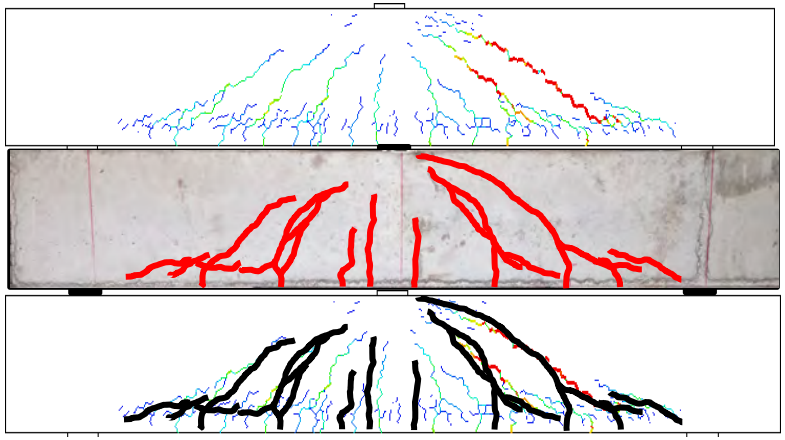
部材レベルの挙動（せん断破壊）







せん断補強筋なし



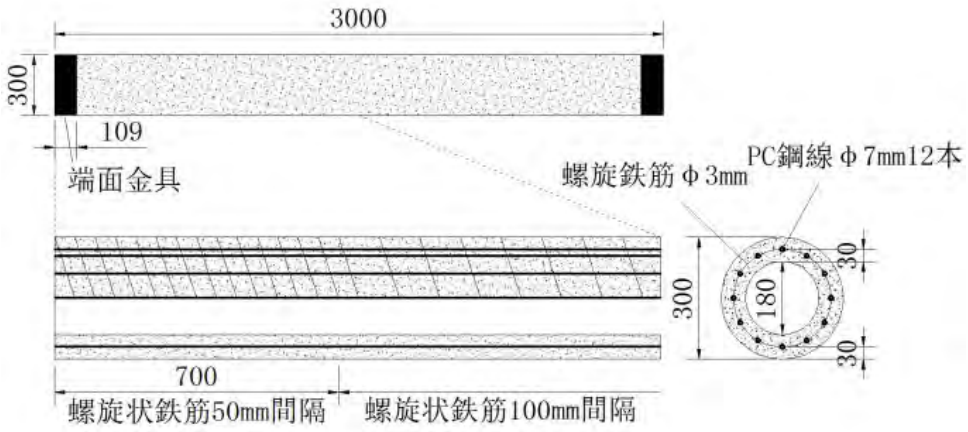
せん断補強筋比0.28%

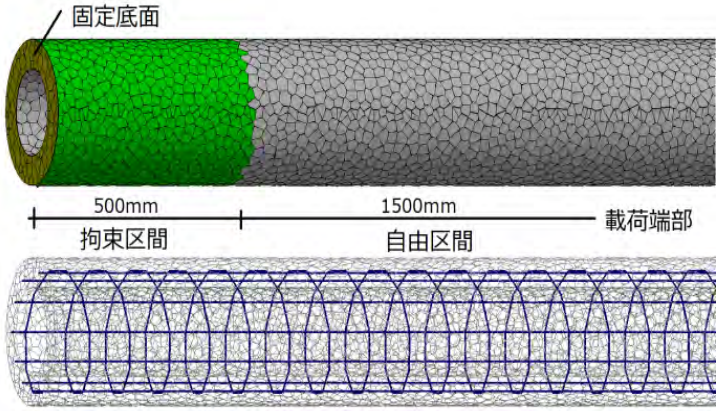
（2017年：土木学会論文集）

高強度PCパイルの解析



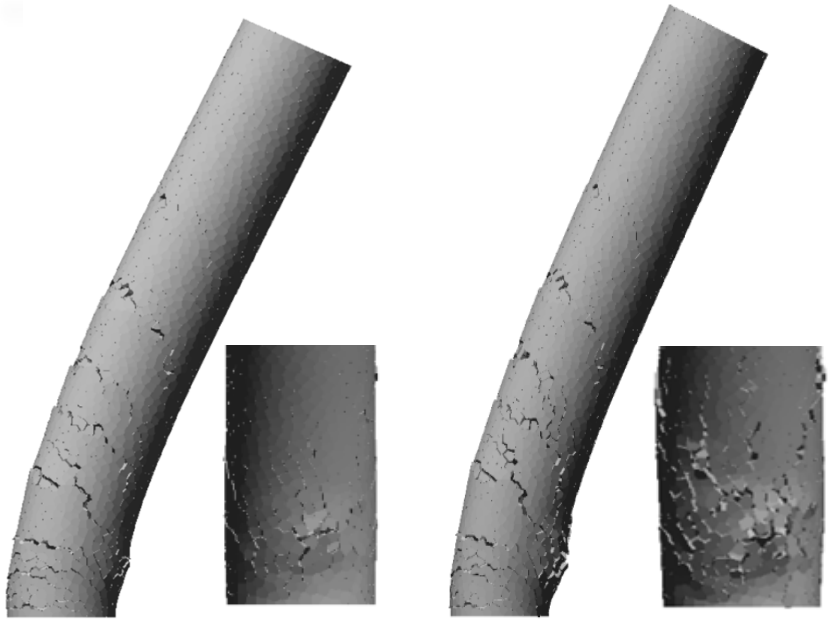
High strength
Prestress
Hollow circular section







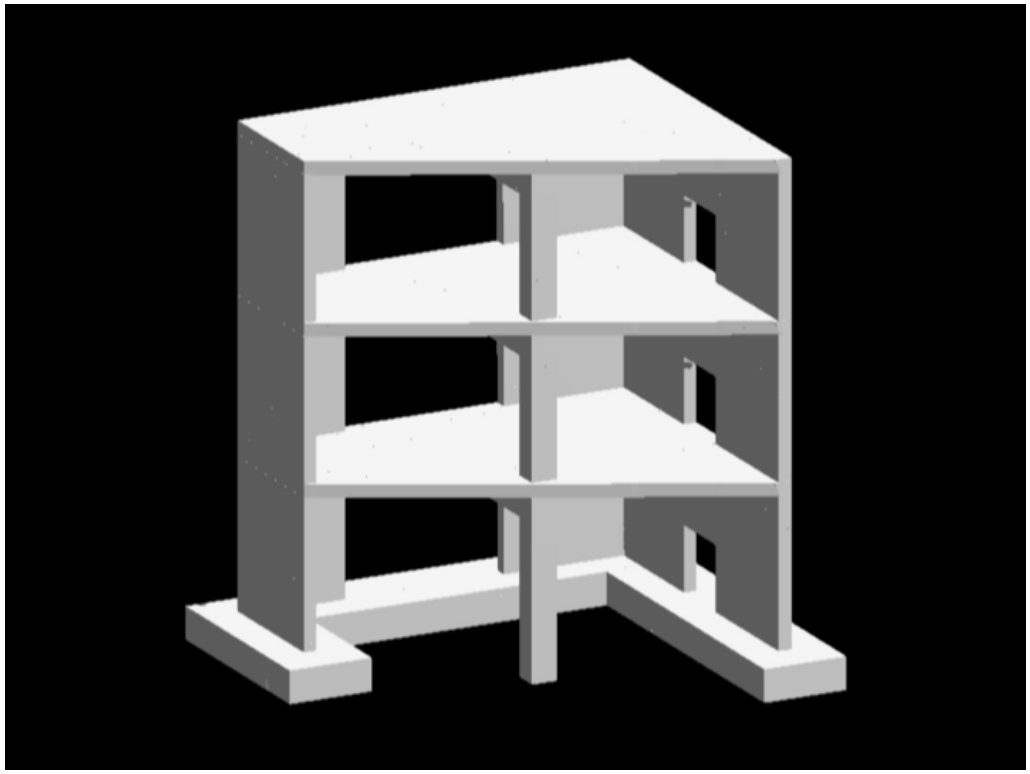




（2013年：PCシンポジウム）

耐震解析





Dynamic torsion behavior of RC building

International benchmark SMART 2013

講演内容

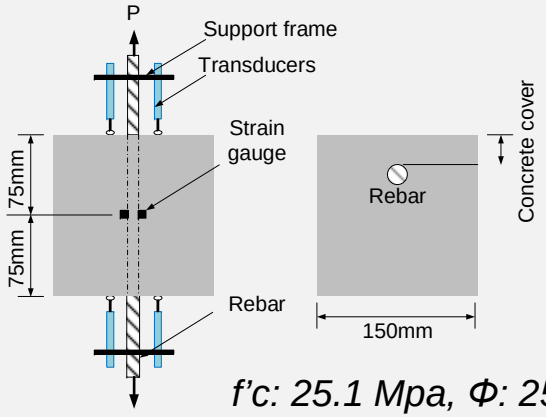


- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- 重ね継手部の性能評価
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- 繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価

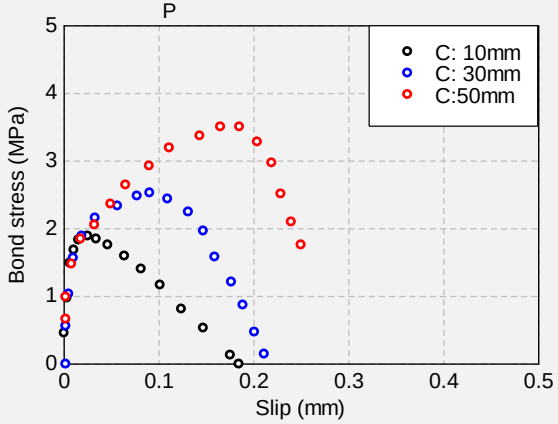
付着性能の評価



Experiments by Iizuka et al. 2011.



f'c: 25.1 Mpa, Φ: 25.4 mm

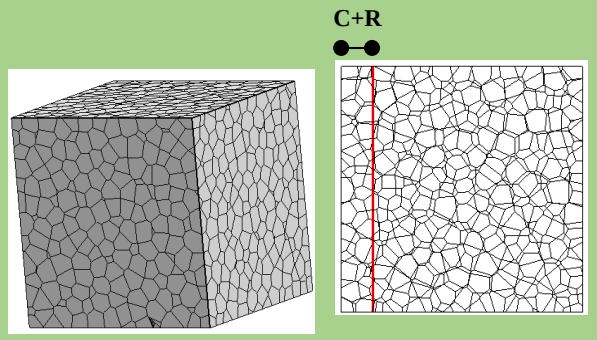


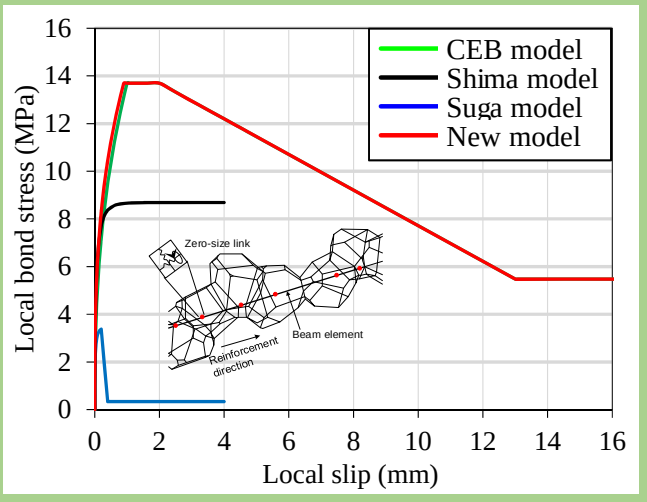
Bond stress and slip relationship

Bond strength increase with the increase of cover thickness. Many parameters such as cover thickness are modeled in constitutive model in F.E.M.

Numerical Modelling

Mesh: 10 mm



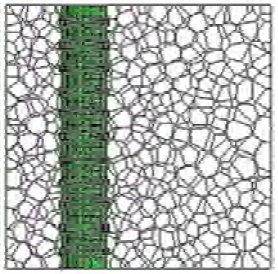


Simple local bond model function: f'c

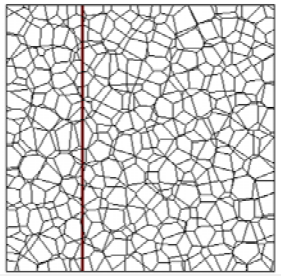
付着性能の評価



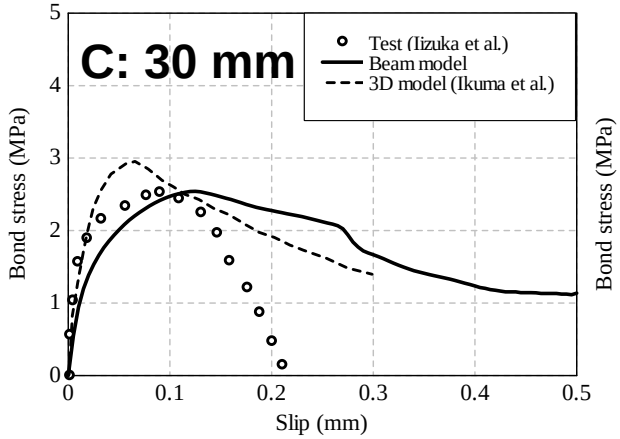
Beam model with proposed approach is efficient and economical

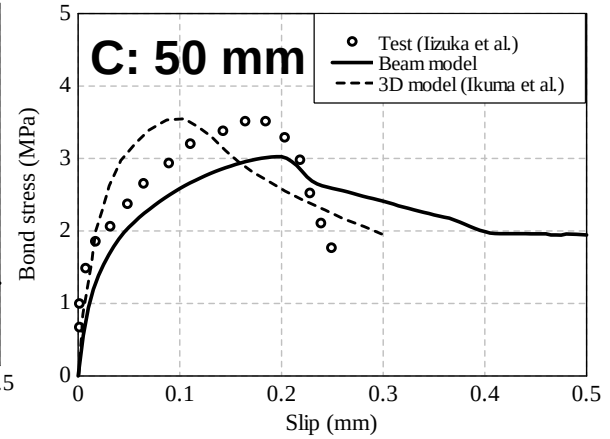


3D rebar with lugs

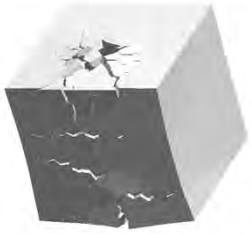
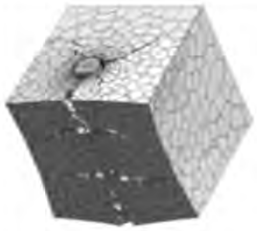
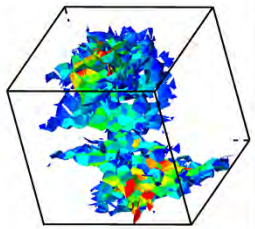
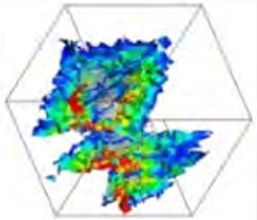
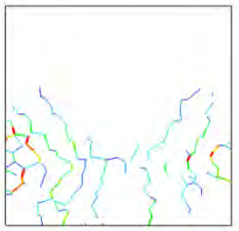
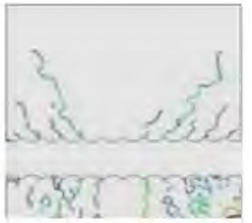


Beam model & vornoi

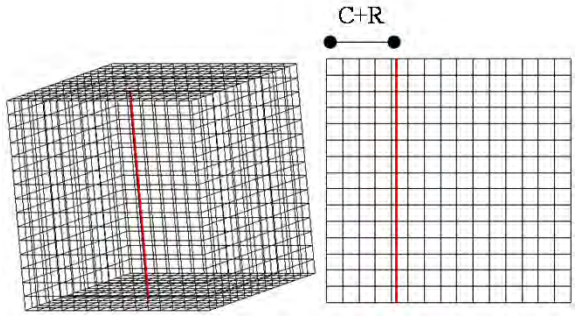




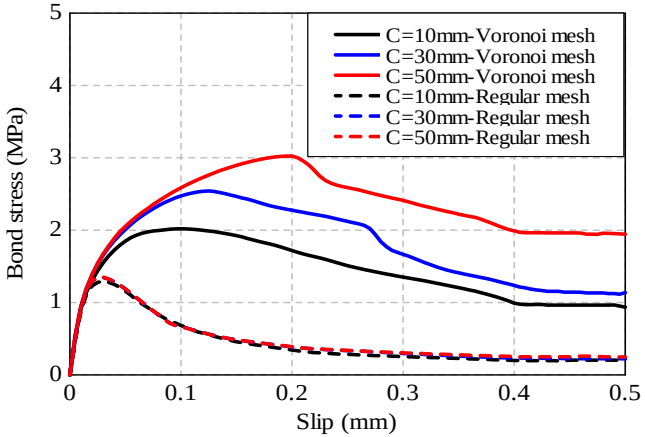
C: 30 mm

Slip	Deformation		Internal cracking (0.01 – 0.1 mm)		Cracking at rebar interface	
	Beam model	3D model	Beam model	3D model	Beam model	3D model
0.30 mm						

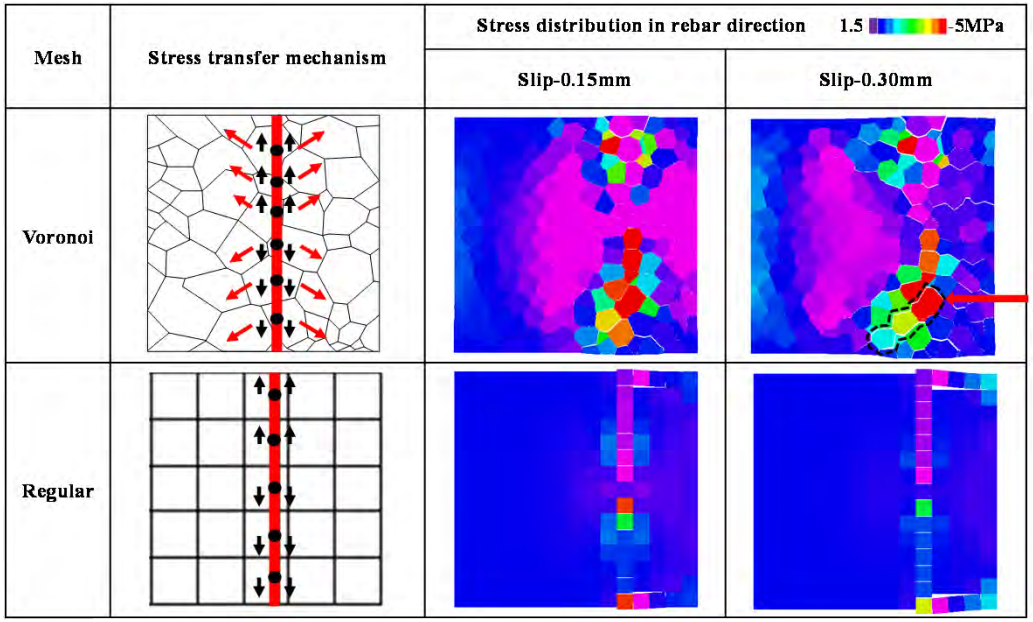
なぜ付着挙動を妥当に評価できるか？



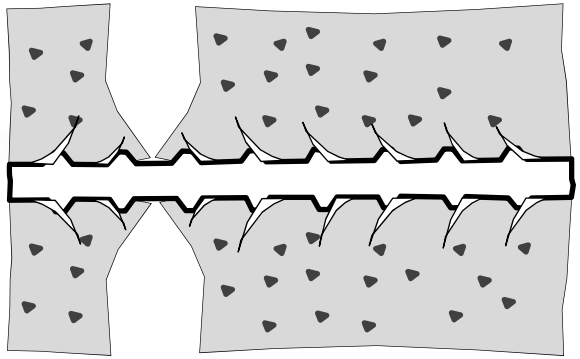
レギュラーメッシュでの解析



付着応力すべり関係



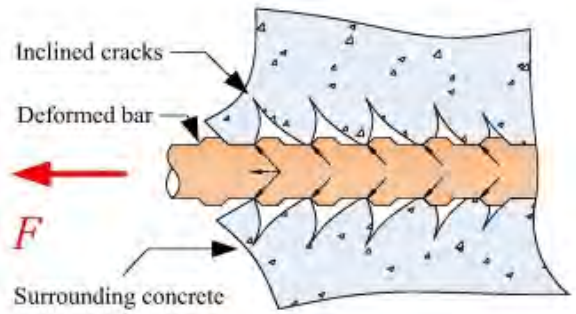
応力伝達メカニズムの相違

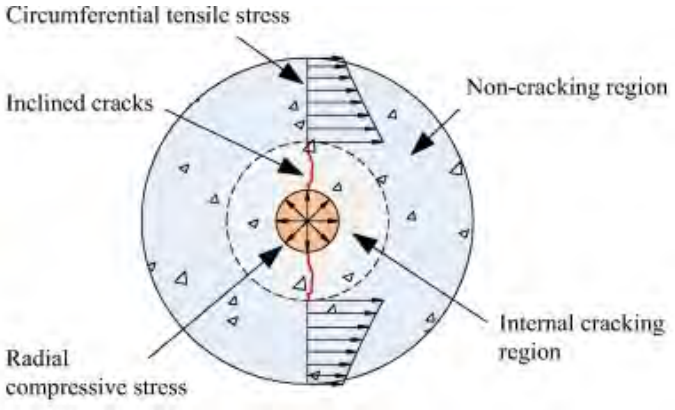


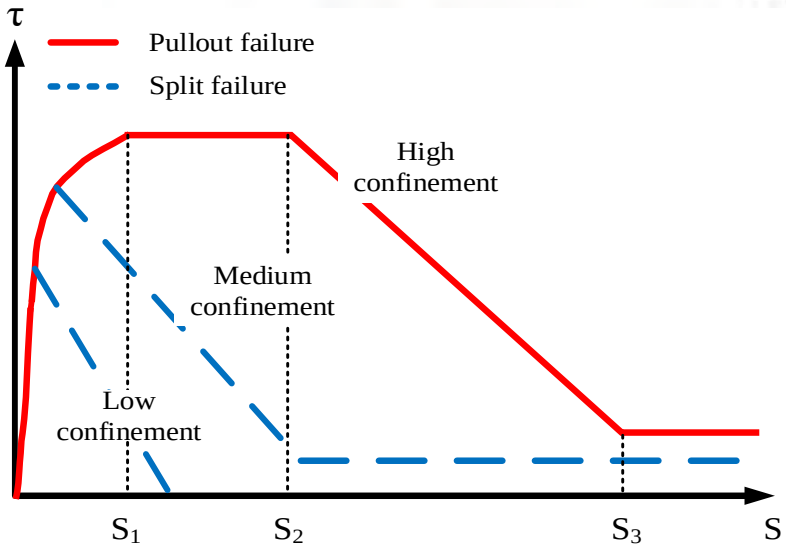
内部クラック（Gotoら）

（2020年：CCC）

付着挙動







Influence of Confinement on Bond Behavior (CEB-FIP model)



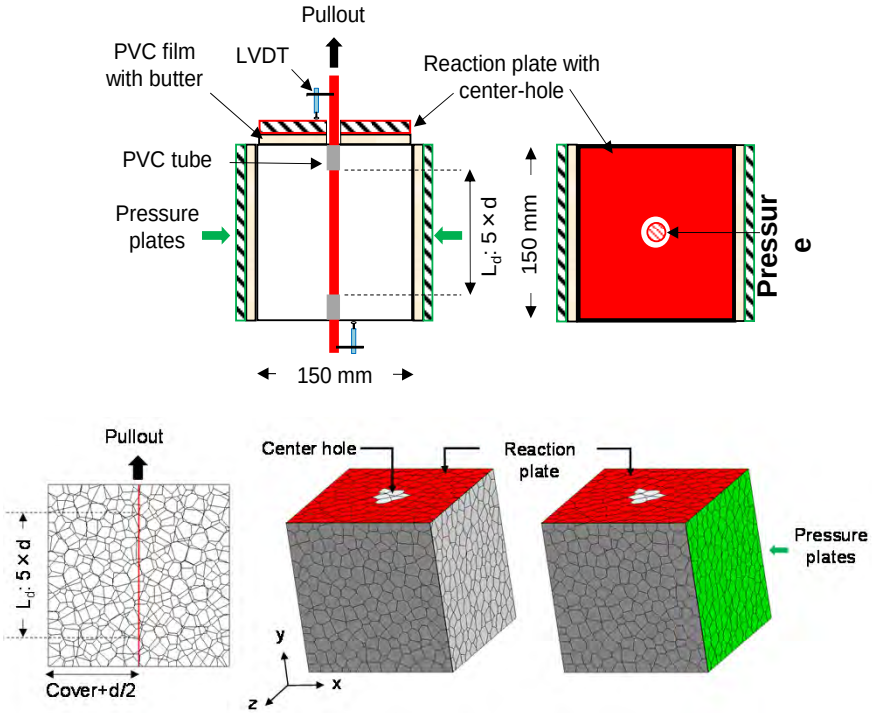
Fig. 1 — Inside of split specimens after failure; Specimen 45905 tested with normal pressure (top); Specimen 45900 tested without normal pressure (bottom)

付着は、すべりの問題ではなく、コンクリートのひび割れの問題
（作用側（τ－s関係）ではなく抵抗側が重要）

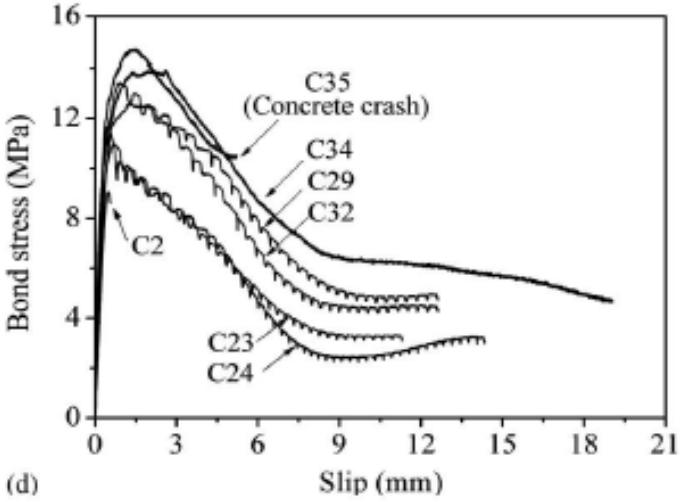
付着性能の評価

拘束力の影響評価

Pull out tests with lateral pressure were simulated.



Numerical modelling in RBSM

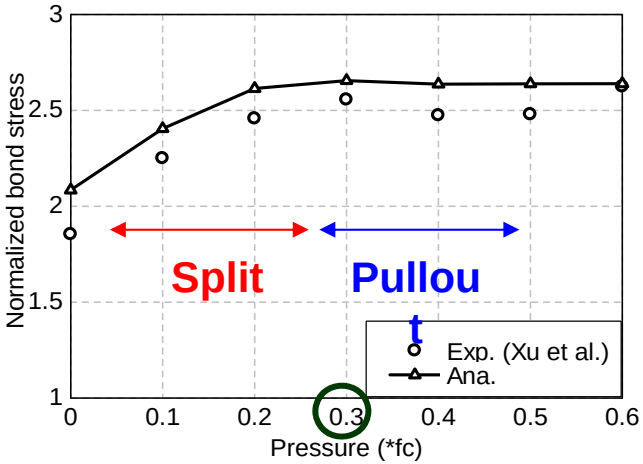


Experiments by Xu et al. 2012

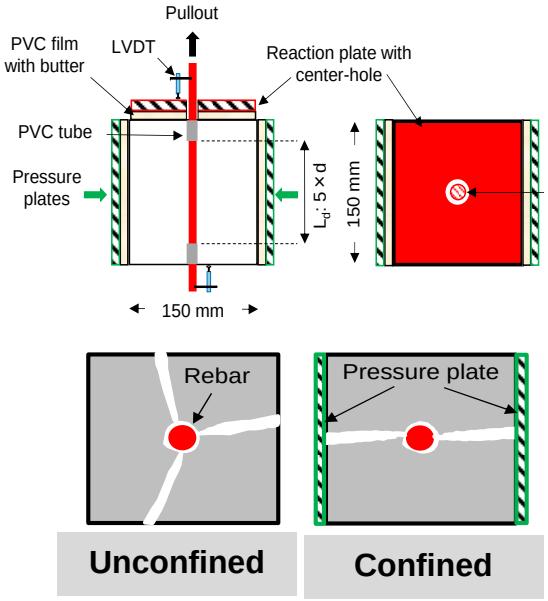
付着性能の評価

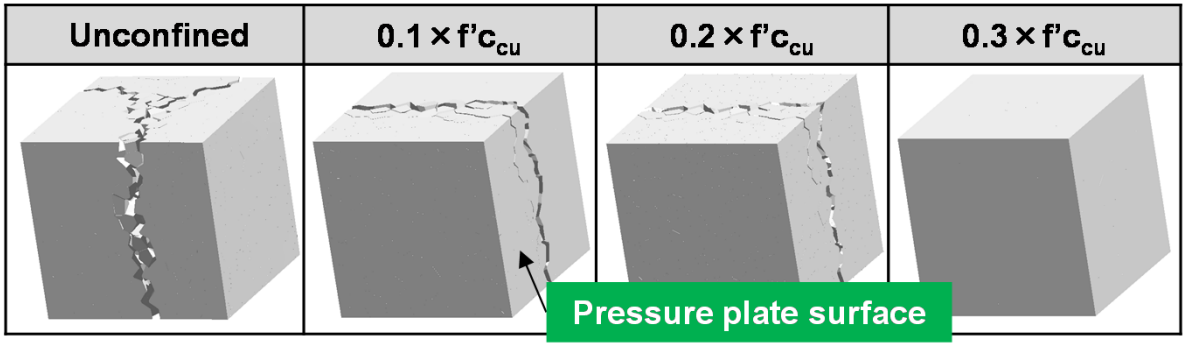


拘束力の影響評価



Maximum bond stress vs lateral pressure





Numerical deformation in post-peak. Slip: 3.0 mm

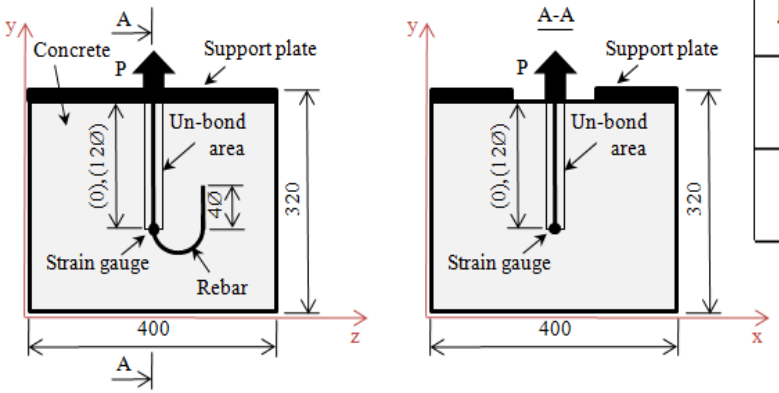
解析のポイント:
拘束力を与える載荷板と供試体の摩擦の設定。
実験は、様々な影響を受けた一結果。解析は条件を明確にした唯一結果。どっちが正しい？

（2021年：CCC）

フックの定着性能の評価

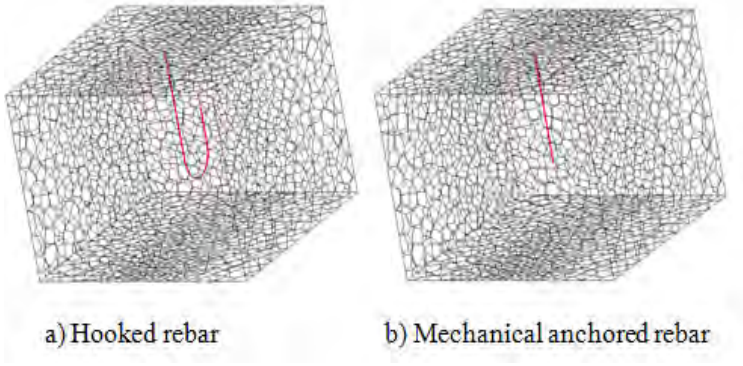
フックと機械式定着

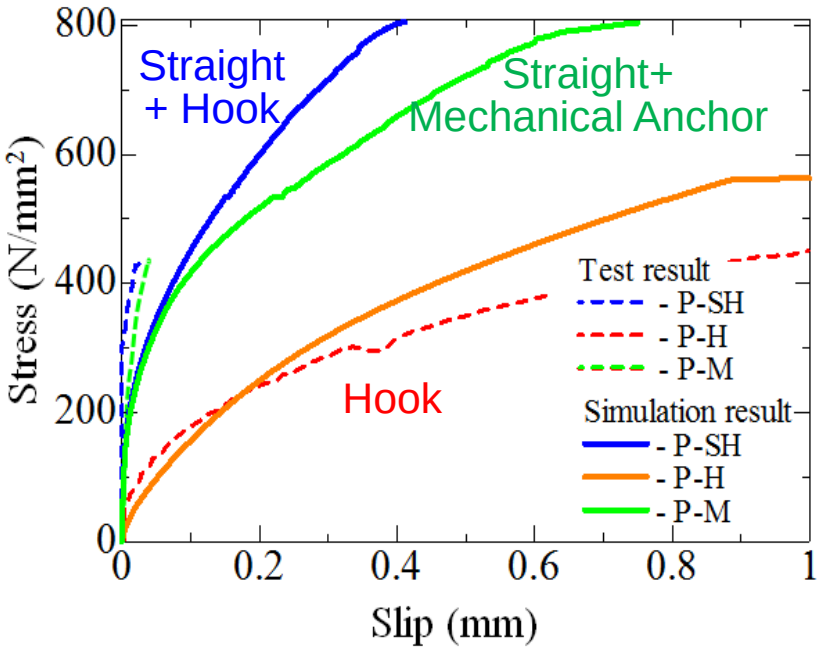
- pull-out test



Specimen No.	Anchorage type	Embedded depth	Bonded length	Titled	Angle of hook (degree)	Cover thickness	Rebar direction	Length after hook	Hook radius
P-SH	Hook	12Ø	12Ø	Full bonded	180	200 (12Ø)	z	4Ø	2.5Ø
P-H	Hook	12Ø	0	Half bonded					
P-M	Mechanical anchor	12Ø	12Ø	Headed	-		-	-	-

- Analytical model

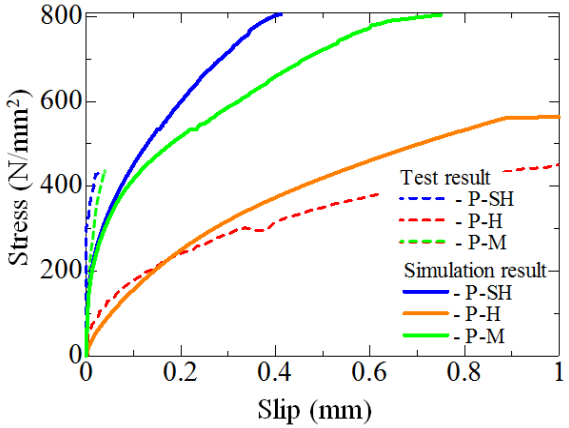


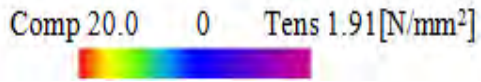


Stress-slip relationship of test and simulation

フックの定着性能の評価

鉄筋周辺の応力状態

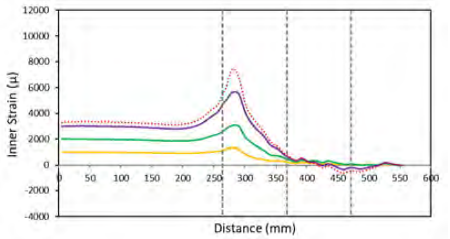




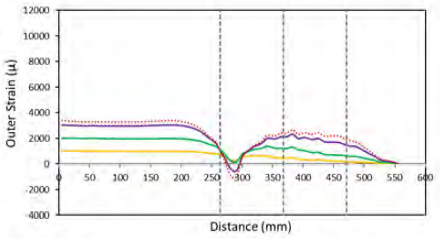


Deformation of Hook

Inner Strain

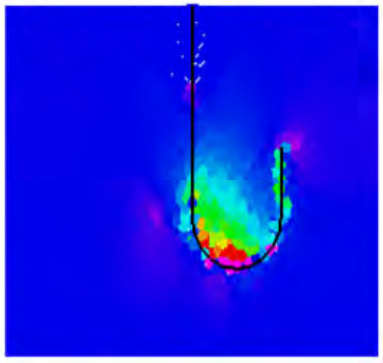


Outer Strain



No/ Stress	100N/mm2	400N/mm2	600N/mm2	800N/mm2
P-SH (Full-bonded rebar)				
P-M (Mechanical anchored rebar)				
P-H (Hook-bonded rebar)				

The stress distribution of 3 specimens for pull out simulation

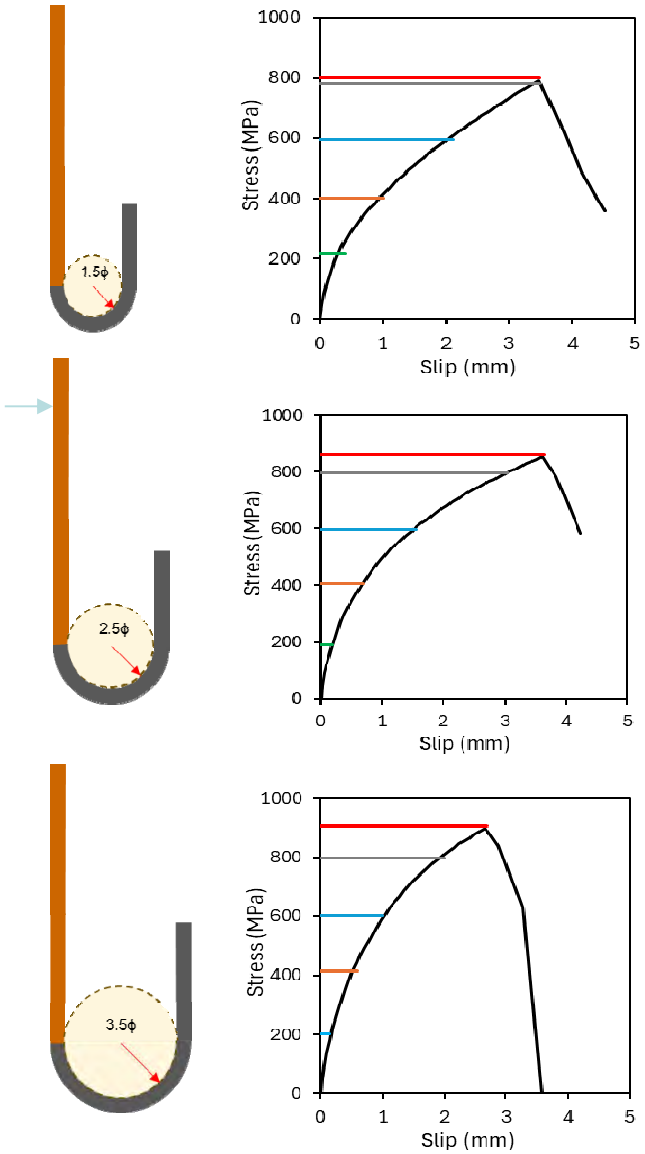


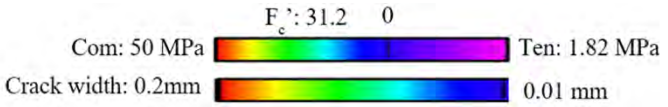
Stress distribution

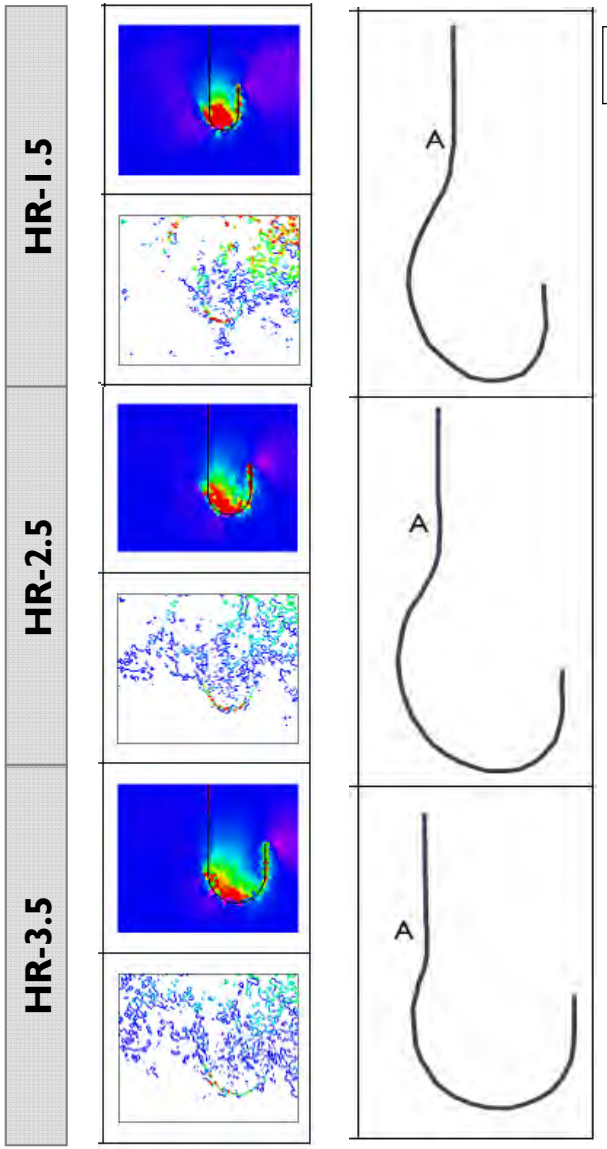
フックの定着性能の評価



半円形フックの曲げ半径の影響





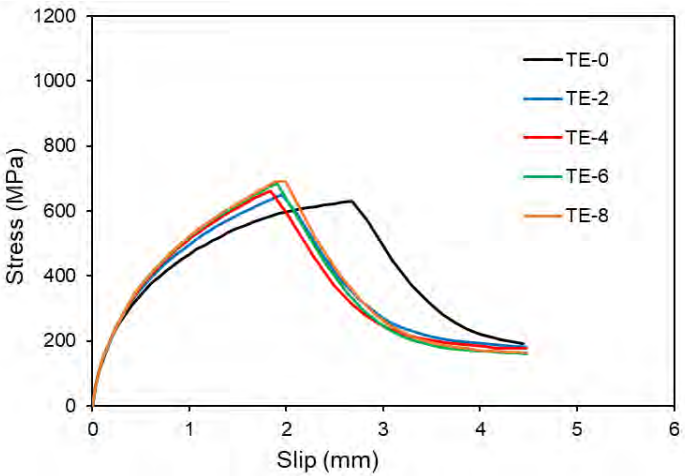


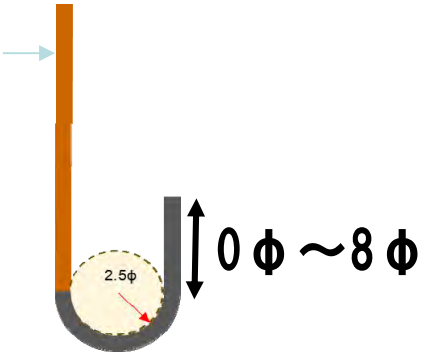
at Peak

フックの定着性能の評価



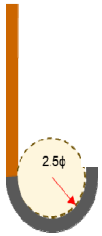
半円形フックの余長の影響（示方書：4φおよび60mm以上）



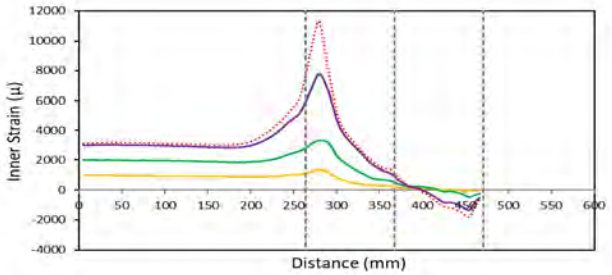


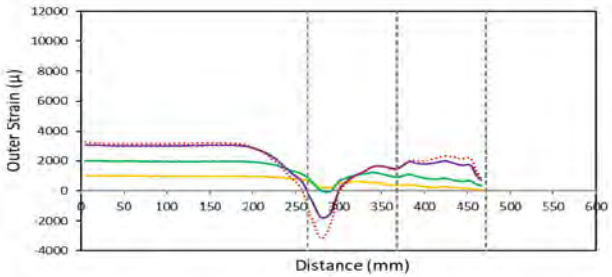
Inner Strain

Outer Strain



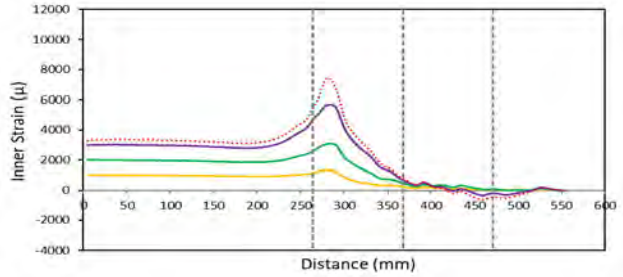
TE-0

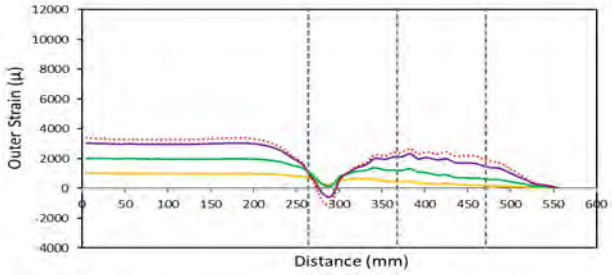






TE-4





講演内容



- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- **重ね継手部の性能評価**
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- 繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価

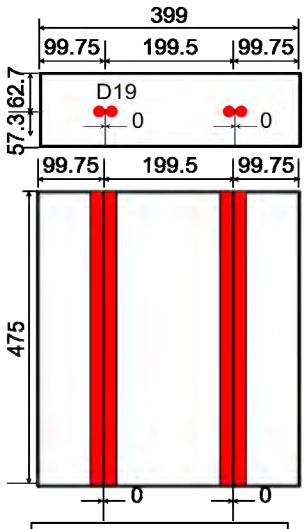
あき重ね継手の適用性検証

【角陸,1994】

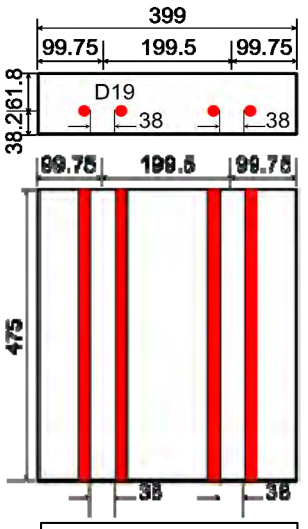
供試体一覧

	f'_c (N/mm^2)	f_y (N/mm^2)	あき (mm)	かぶり (mm)
HT-46	22	740	0	47.5(2.5Φ)
HT-49	62	740	0	47.5(2.5Φ)
HT-50	22	740	19(1Φ)	47.5(2.5Φ)
HT-51	22	740	38(2Φ)	28.5(1.5Φ)
HT-52	22	740	57(3Φ)	28.5(1.5Φ)
HT-53	29	740	19(1Φ)	47.5(2.5Φ)
HT-54	29	740	38(2Φ)	28.5(1.5Φ)
HT-55	29	740	57(3Φ)	28.5(1.5Φ)

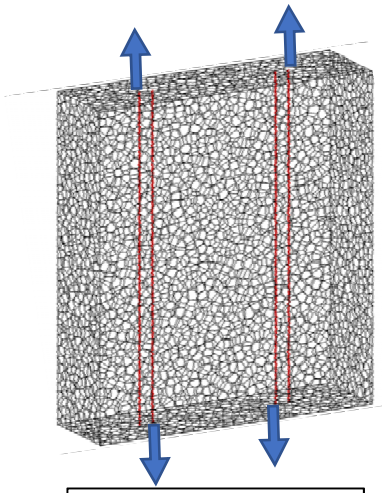
[Unit：mm]



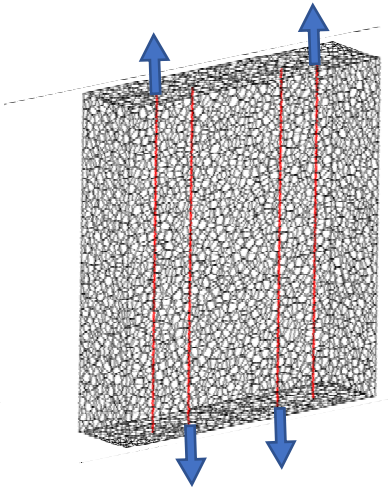
HT-46/49



HT-51/54

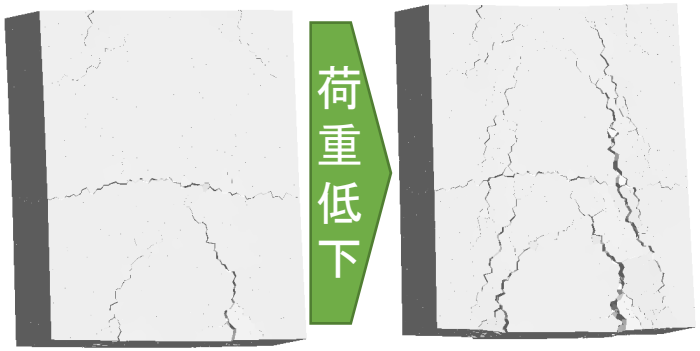


HT-46/49
解析モデル

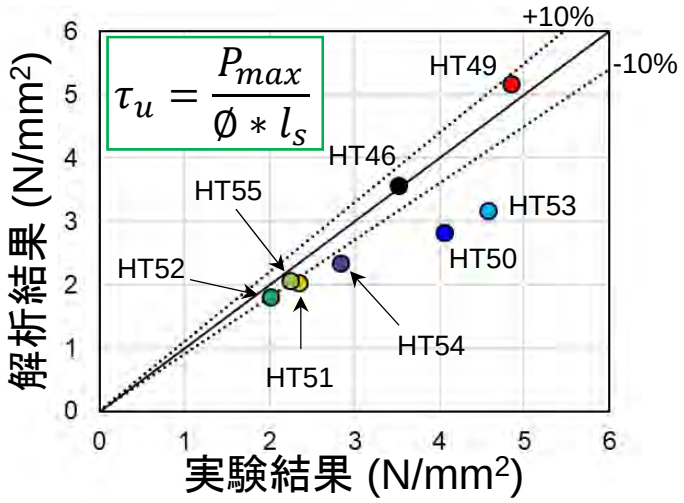


HT-51/54
解析モデル

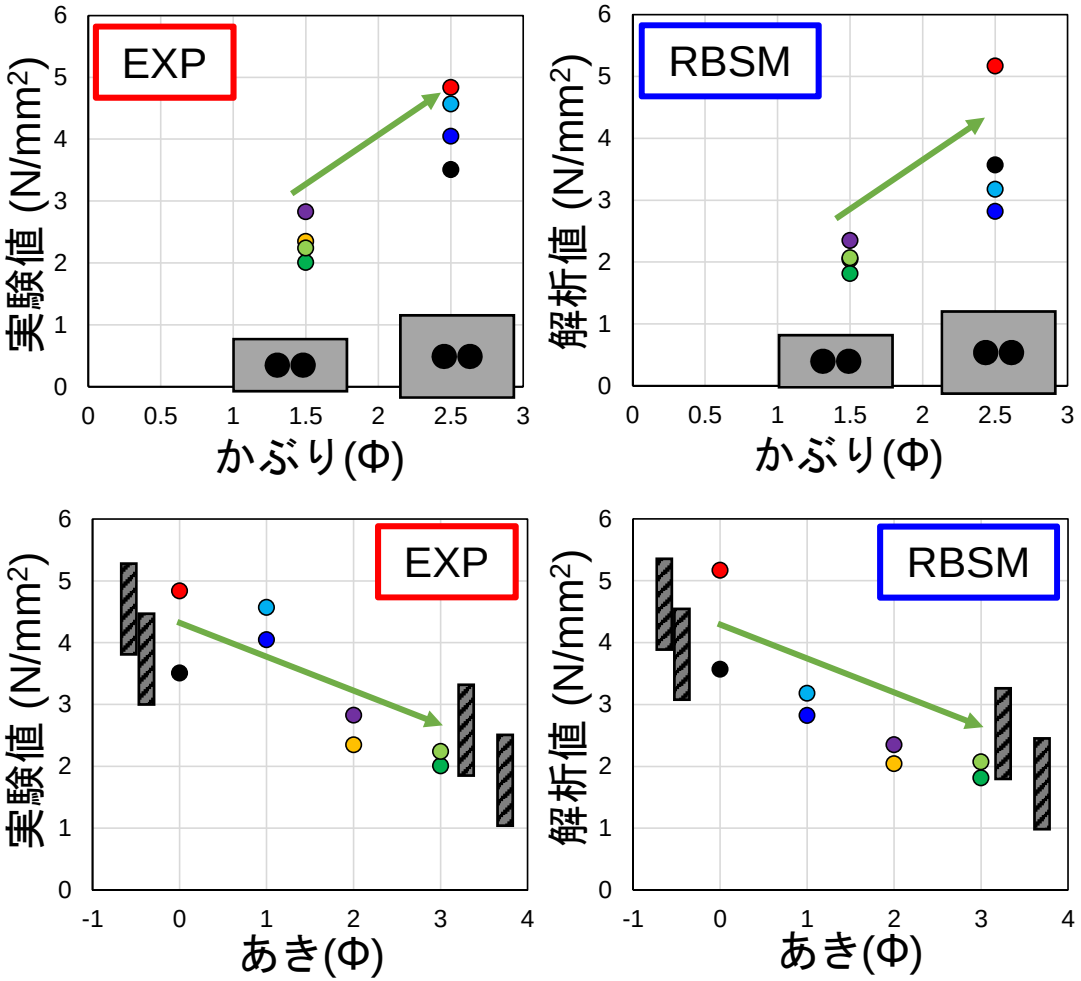
あき重ね継手の適用性検証



HT-46の変形図（*10）

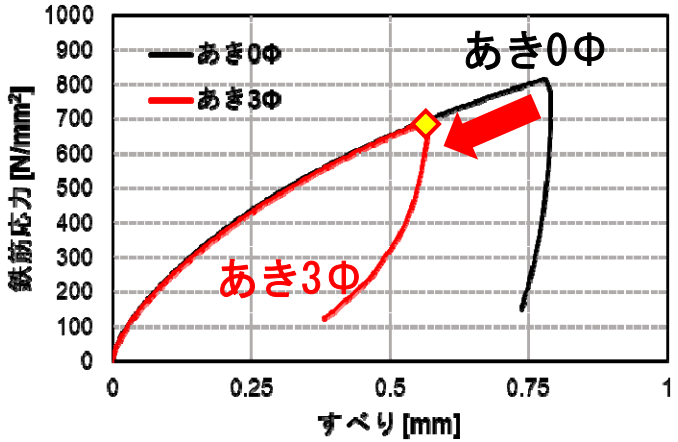


【実験&解析】 付着割裂強度の比較

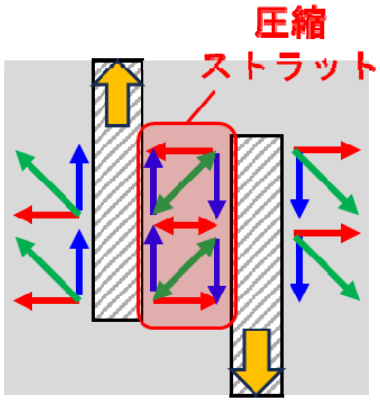


各種要因と付着割裂強度の関係

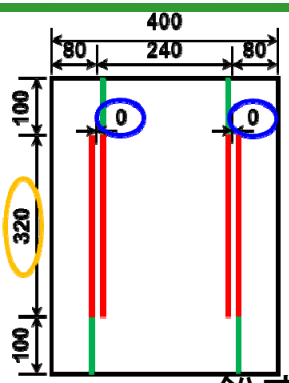
あき重ね継手の抵抗メカニズム



鉄筋応力ーすべり関係

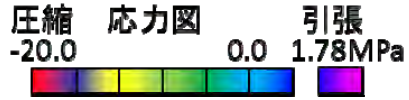


圧縮ストラットの存在は、
割裂応力の存在でもある

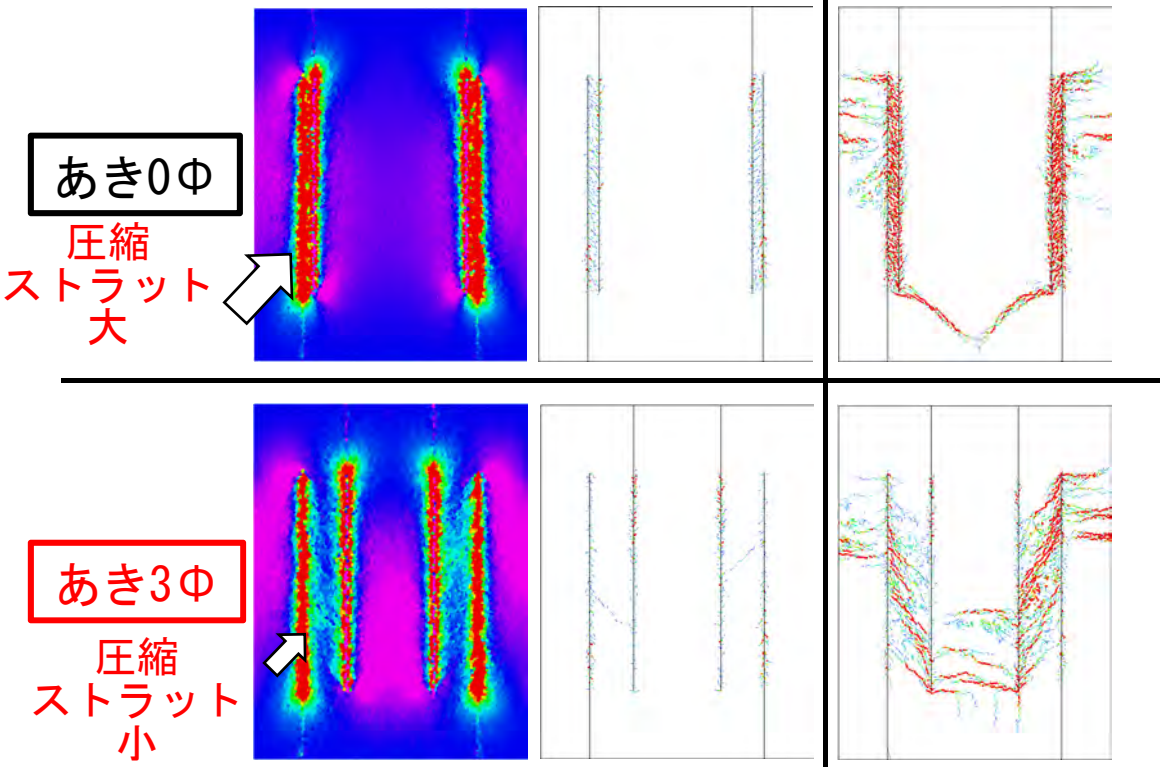


鉛直方向応力図

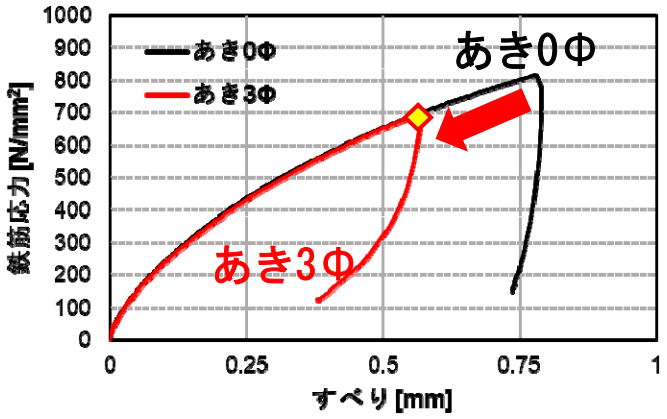




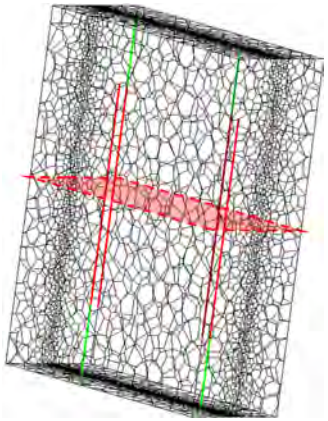
ひび割れ図

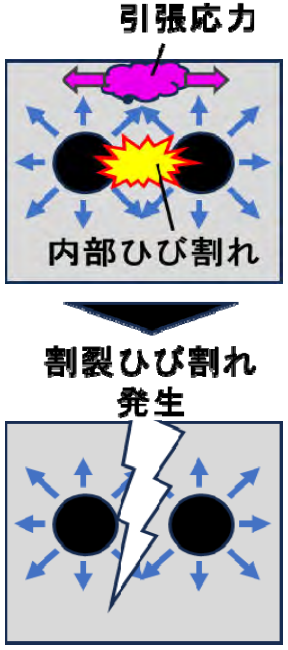


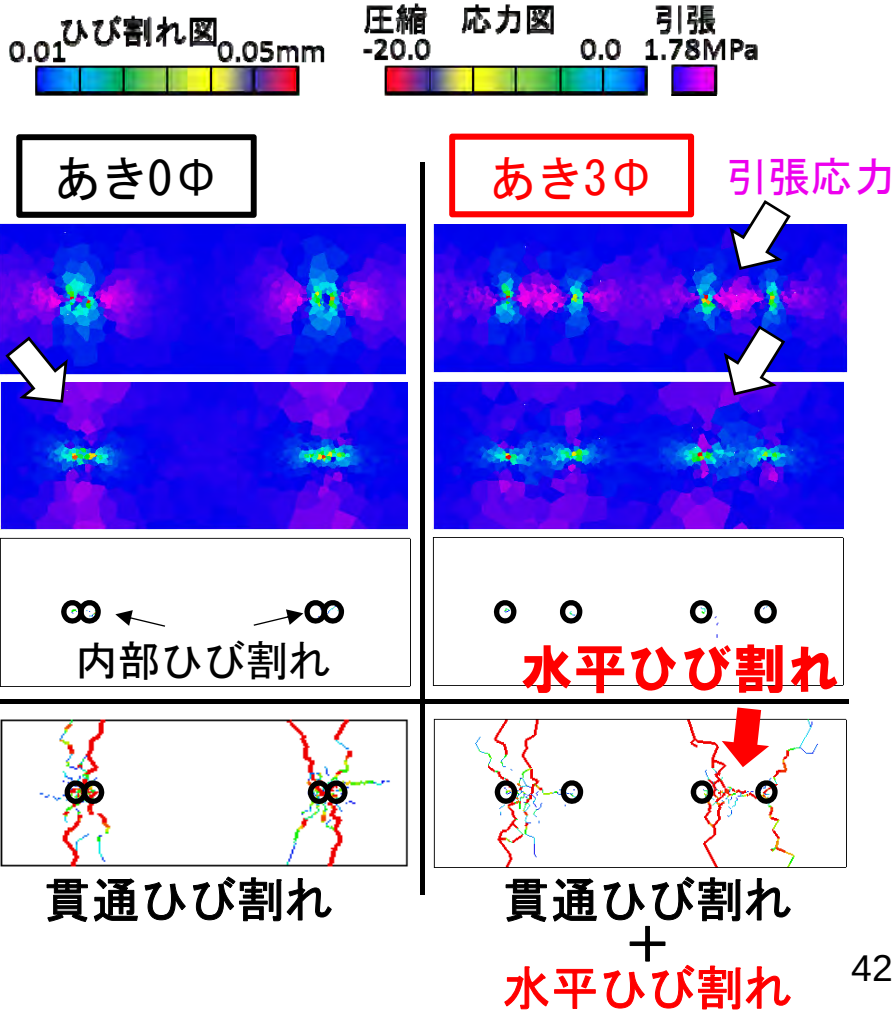
あき重ね継手の抵抗メカニズム



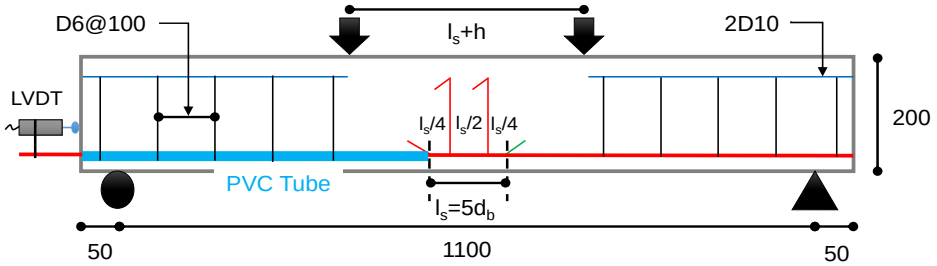
鉄筋応力ーすべり関係



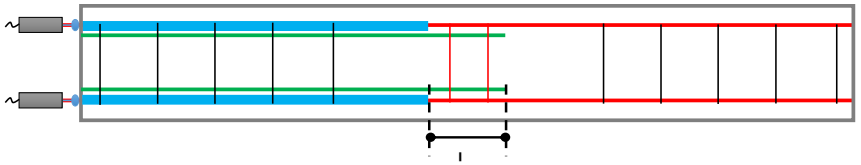




重ね継手のひび割れ進展メカニズムの解明

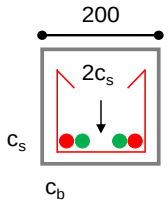


a. Side view.

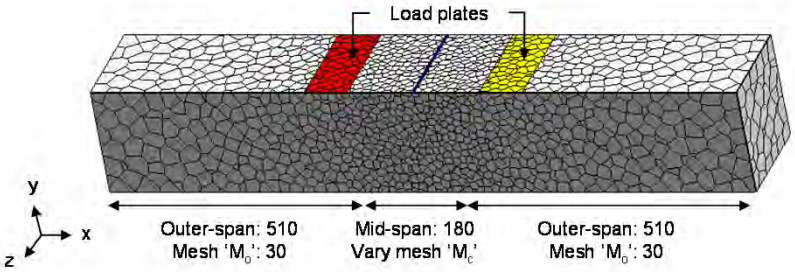


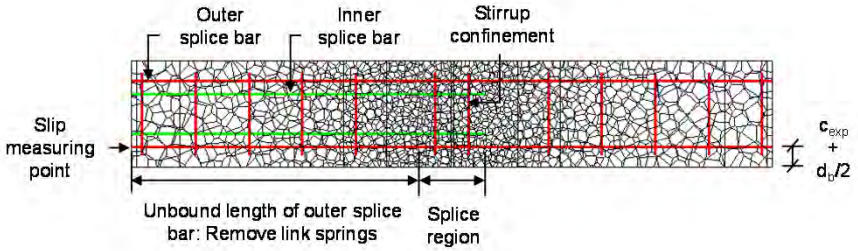
c. Bottom view.

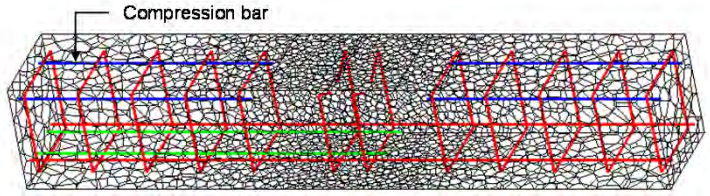




b. Section.





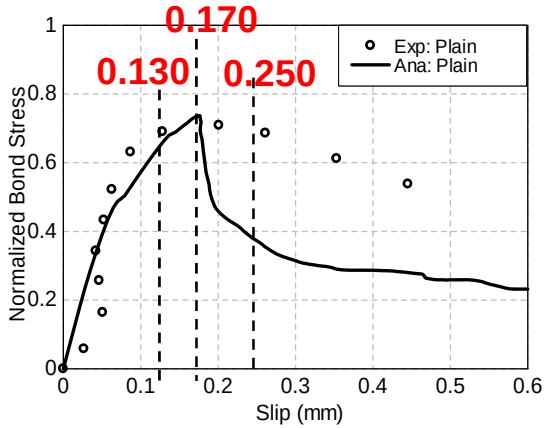


B.S. Hamad, S. Najjar, Evaluation of the role of transverse reinforcement in confining tension lap splices in high strength concrete, Mater. Struct. 35 (2002) 219-228.

（2022年：Engineering Structures）

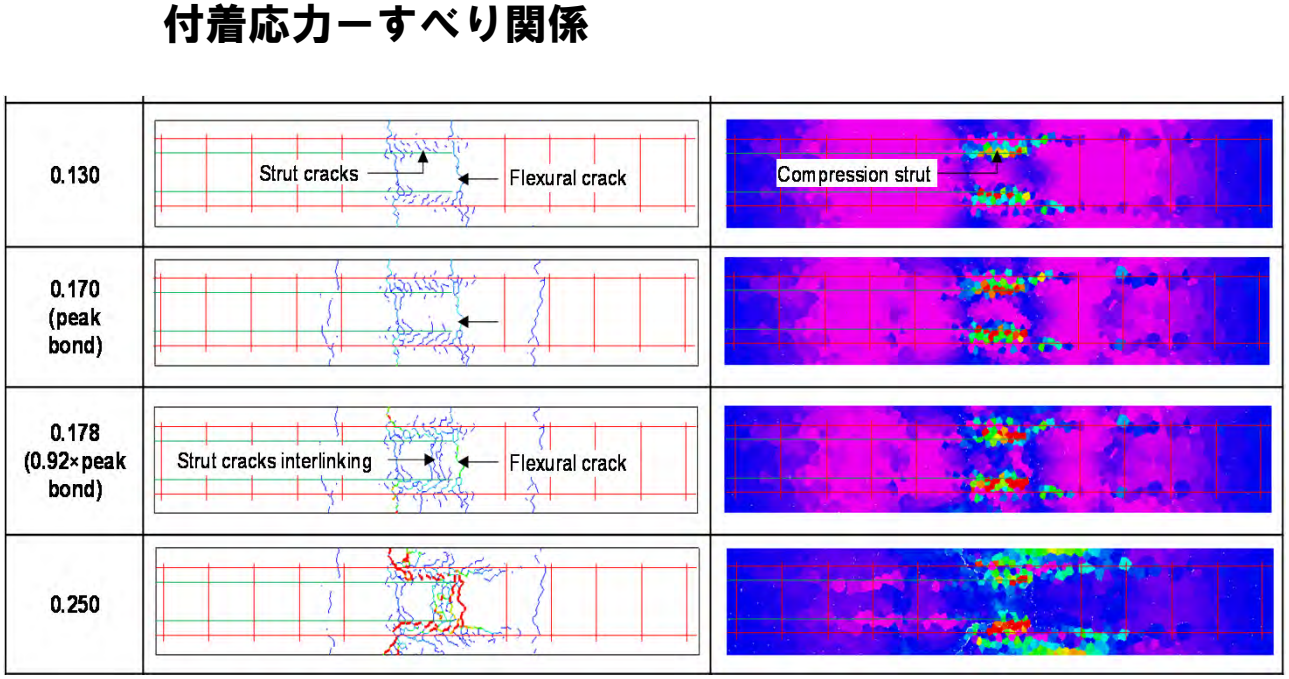
重ね継手のひび割れ進展メカニズムの解明

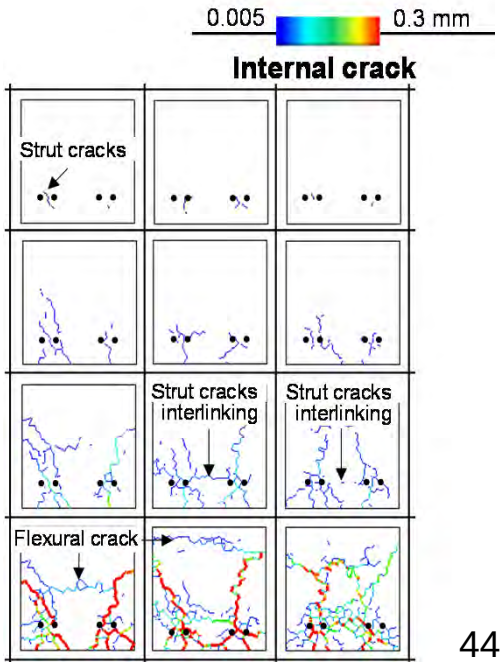
スターラップがない場合の解析結果



付着応力ーすべり関係

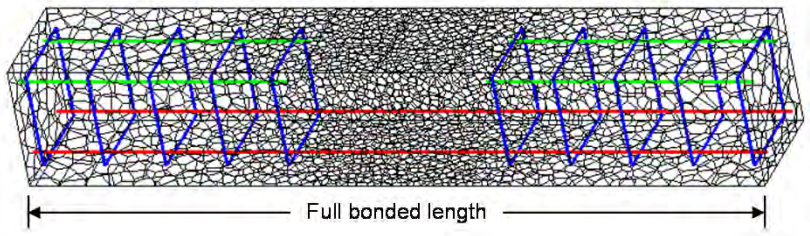


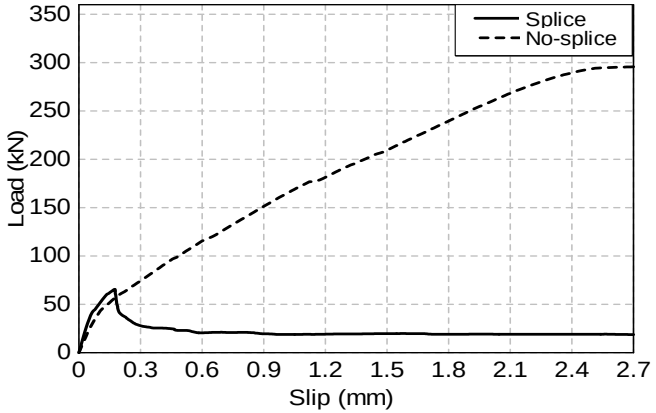




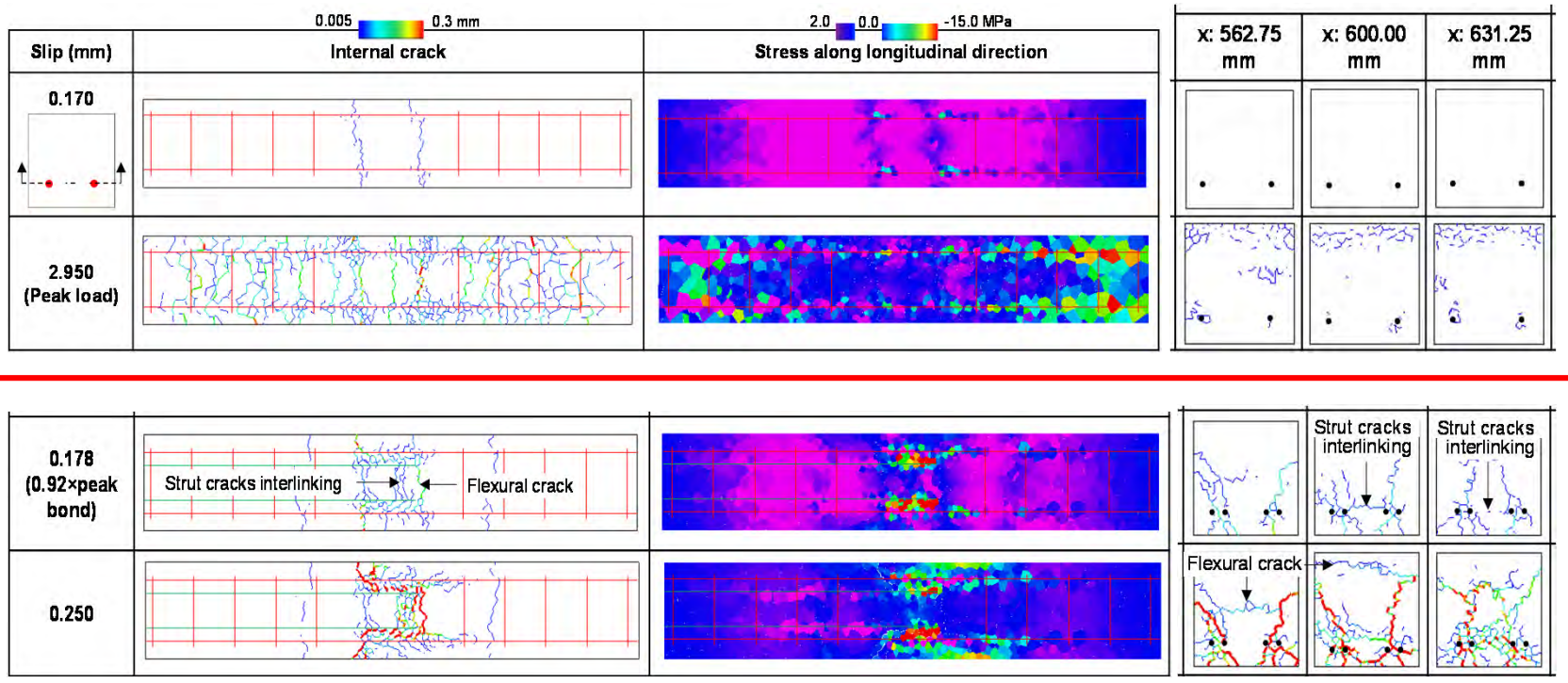
重ね継手のひび割れ進展メカニズムの解明

重ね継手の有無の影響



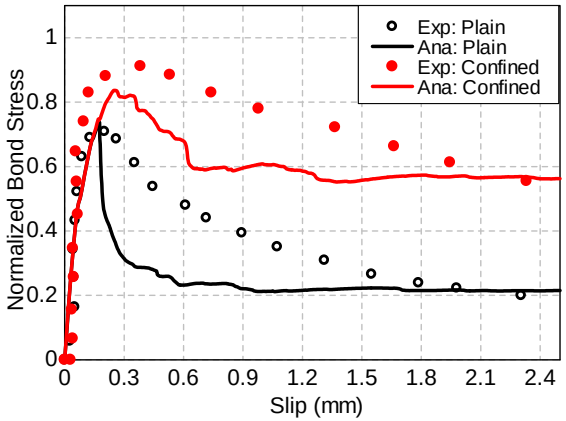


荷重－すべり関係

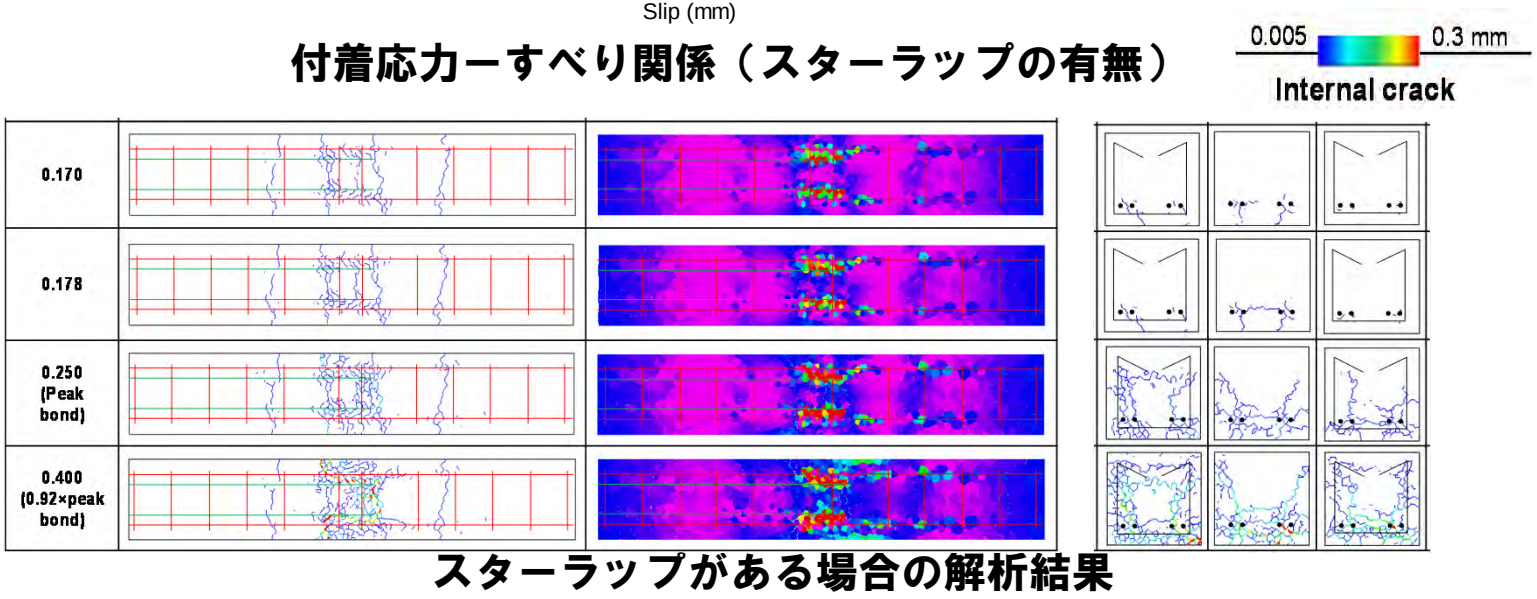


重ね継手のひび割れ進展メカニズムの解明

スターラップがある場合の解析結果



付着応力ーすべり関係（スターラップの有無）



スターラップがある場合の解析結果

重ね継手は、ストラット応力の問題ではないのでは？単に鉄筋単体の付着応力の問題。リングテンションが顕著に生じる問題に過ぎないのでは？

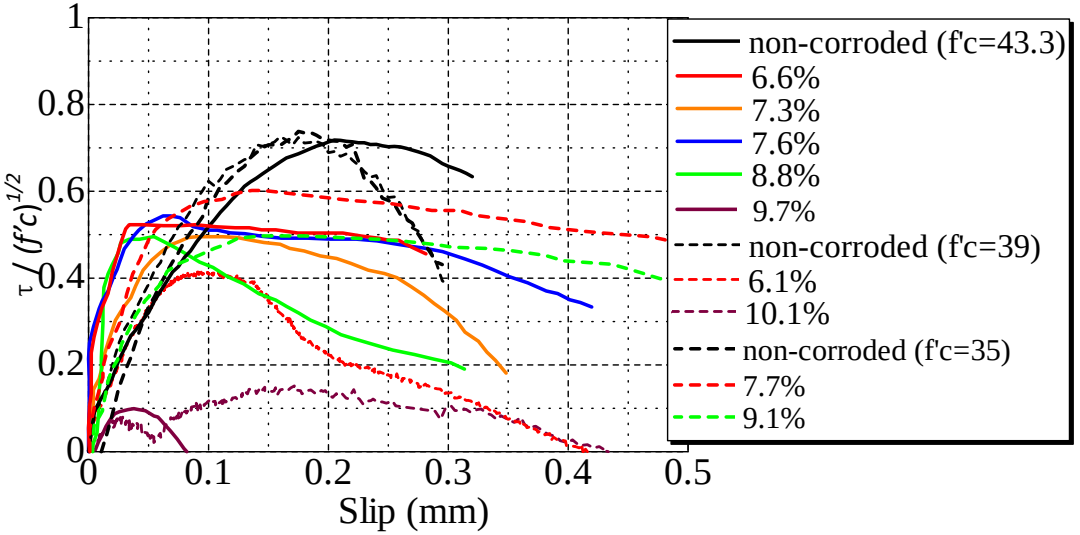
講演内容

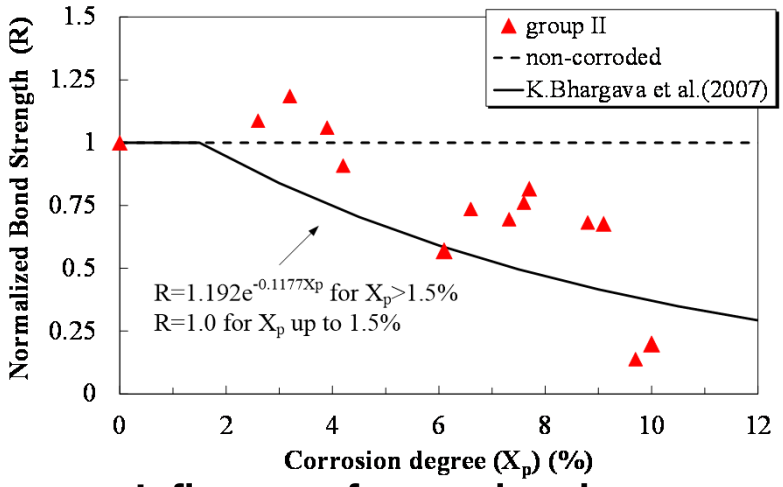


- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- 重ね継手部の性能評価
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- 繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価

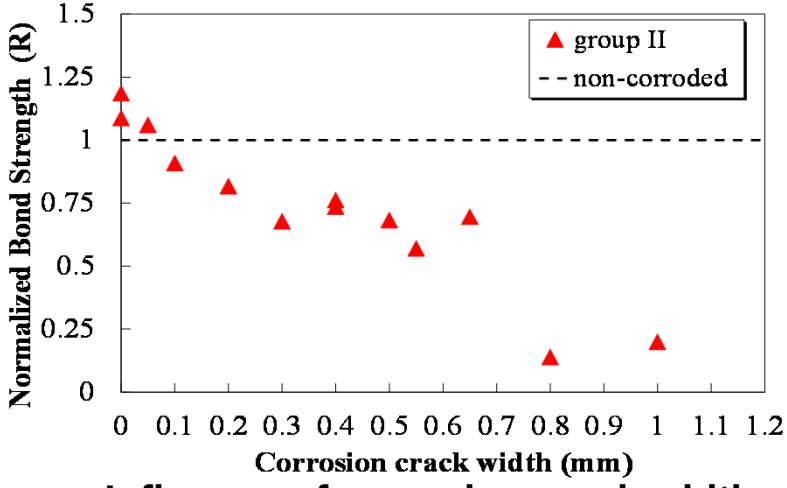
鉄筋が腐食した場合の付着挙動







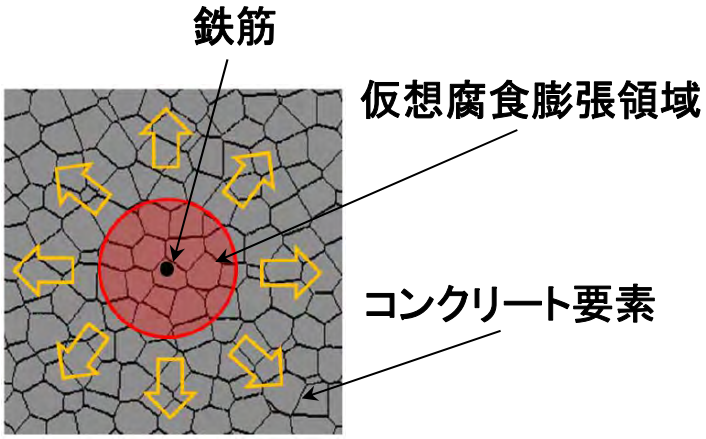
Influence of corrosion degree



Influence of corrosion crack width

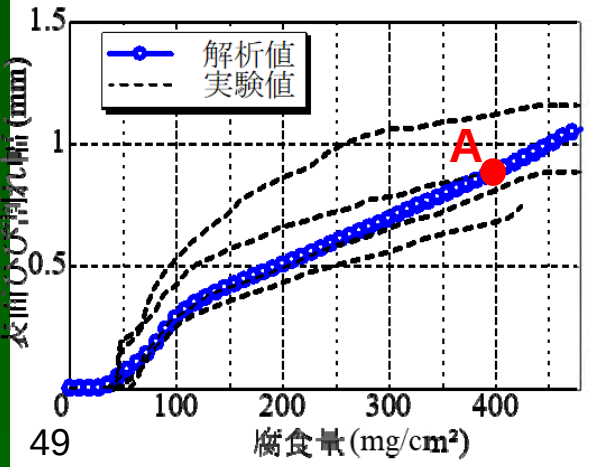
腐食ひび割れの影響を考慮した付着解析

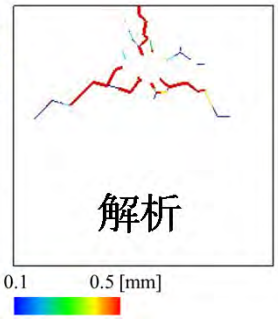
仮想腐食膨張領域



- 腐食量によって決定される腐食膨張圧から初期ひずみを計算し，その値を仮想腐食膨張領域内のコンクリート要素の境界面に設置されている垂直バネに導入する。
- 仮想腐食膨張領域によって腐食時にコンクリート要素内に仮想の鉄筋領域が生成される。

腐食ひび割れ解析







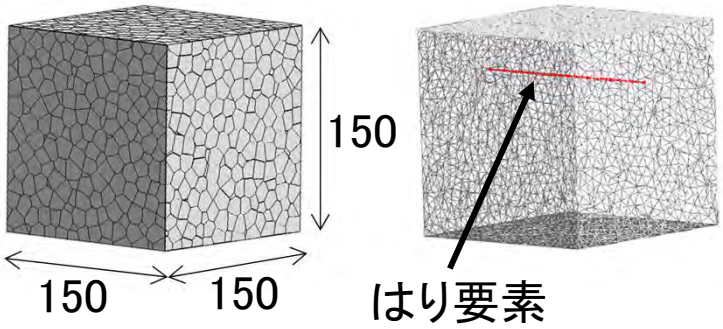
Nguyen et al, JCI, 2017

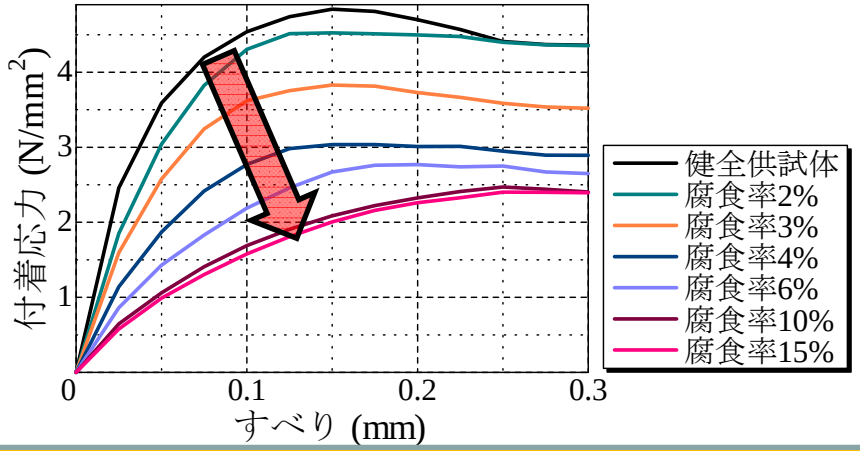
- ✓ ひび割れ幅の非線形な拡大傾向
- ✓ 内部ひび割れの進展状況

腐食ひび割れ進展挙動を再現可能である

腐食ひび割れの影響を考慮した付着解析

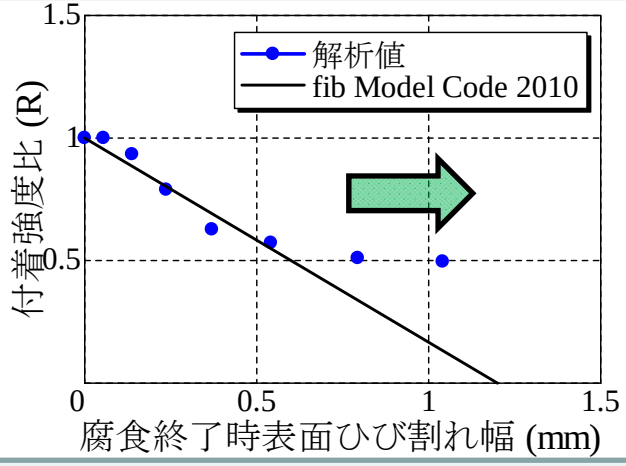
解析モデル

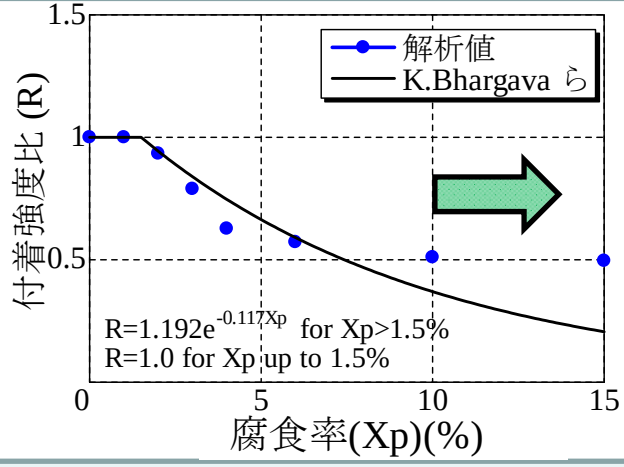




腐食率→大

付着強度，初期剛性→小　　軟化勾配→緩やか



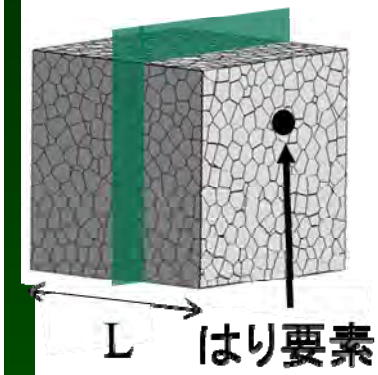


腐食率→10%以降

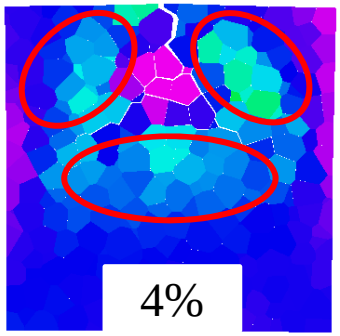
鉄筋の形状変化を考慮する必要あり

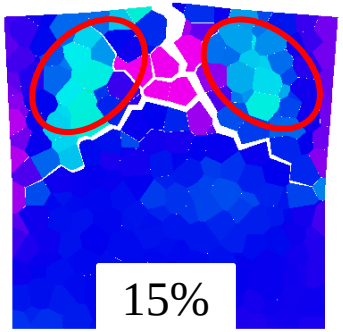
腐食ひび割れの影響を考慮した付着解析

断面位置=3/8L



腐食終了時

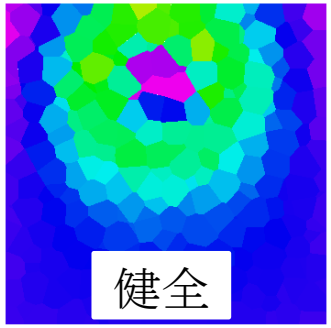


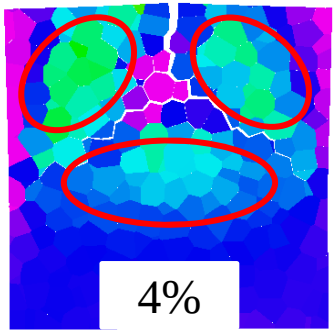


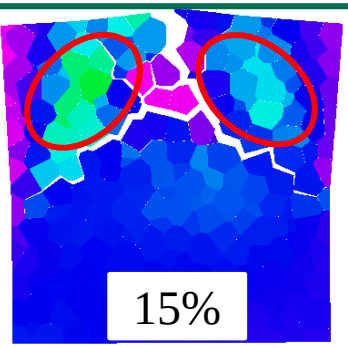
鉄筋周囲に引張応力が発生し，腐食が進むにつれ応力解放される

2.13 0 -5 [MPa]

すべり量
0.15mm時点







腐食終了時の応力伝達領域が，そのまま引張力に抵抗する。
腐食率が大きくなるほど，応力伝達領域は小さくなる。

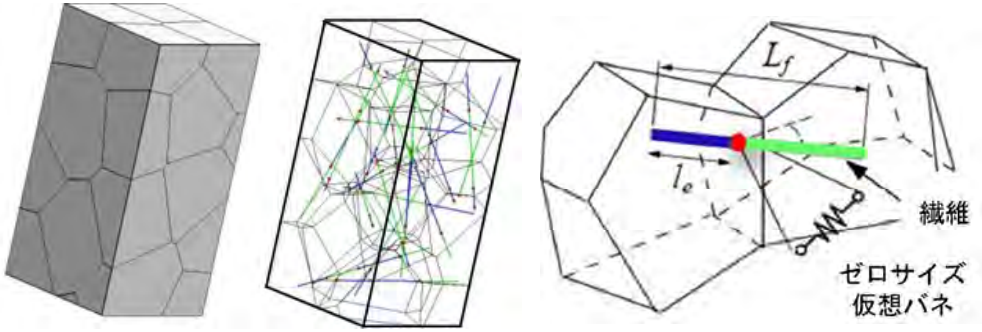
付着強度の低下の度合いは，腐食ひび割れによる
応力伝達領域の減少量で決まると推測される。

講演内容



- 構造細目に関わる課題
- 剛体バネモルによるRC部材の性能評価
- 付着・フック定着の性能評価
- 重ね継手部の性能評価
- 劣化損傷時の付着の性能評価
- **繊維補強コンクリートの付着・定着・重ね継手の性能評価**

鋼繊維補強コンクリートのモデル化



- ✓ ボロノイメッシュのランダムな位置、角度に繊維を離散的に配置
- ✓ 繊維とボロノイ要素境界面の交差点に垂直バネを配置 → 力の伝達

繊維の引抜抵抗力

ひび割れ前

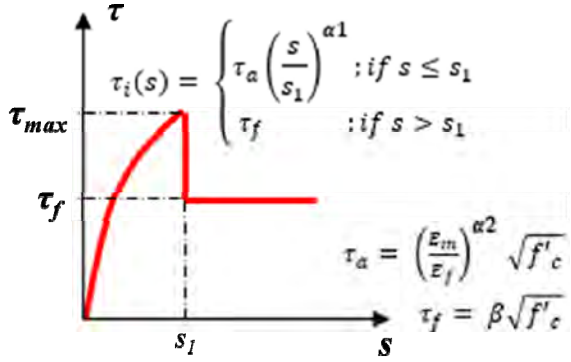
弾性引張応力分布



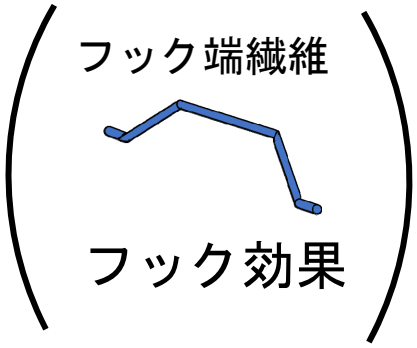
- ✓ 繊維長に沿った弾性引張応力分布

ひび割れ後

局所付着応力－すべり関係



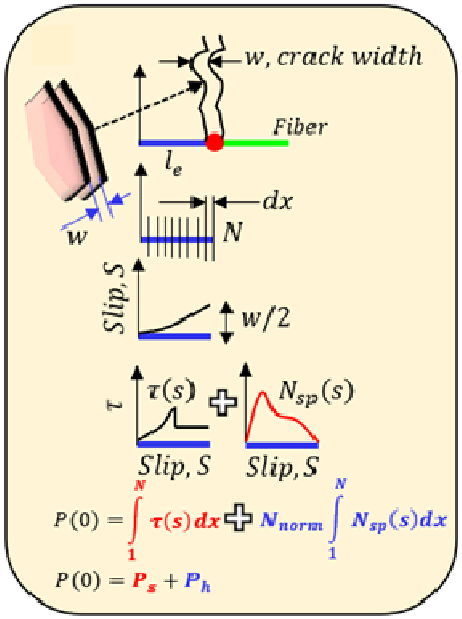
＋

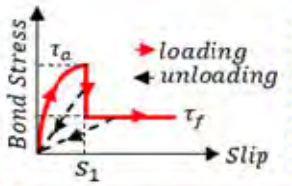


- ✓ 局所付着応力を積分した繊維引き抜き荷重
- ✓ フック端の機械的作用を考慮した繊維引き抜き荷重

鋼繊維補強コンクリートのモデル化

Crack bridging part



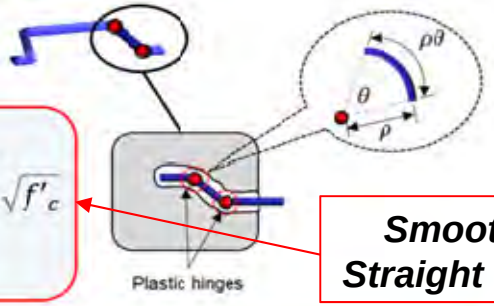


Smooth steel fiber
$(P(0) = P_s)$

Hook end steel fiber
$(P(0) = P_s + P_h)$

Local bond – slip model (P_s)

$$\tau(s) = \begin{cases} \tau_a \left(\frac{s}{s_1}\right)^{\alpha} & ; if\ s \le s_1 \\ \tau_f & ; if\ s > s_1 \end{cases} \quad \tau_a = \left(\frac{E_m}{E_f}\right)^{\alpha 1} \sqrt{f'_c} \quad \tau_f = \beta\sqrt{f'_c}$$



Smooth/ Straight fiber

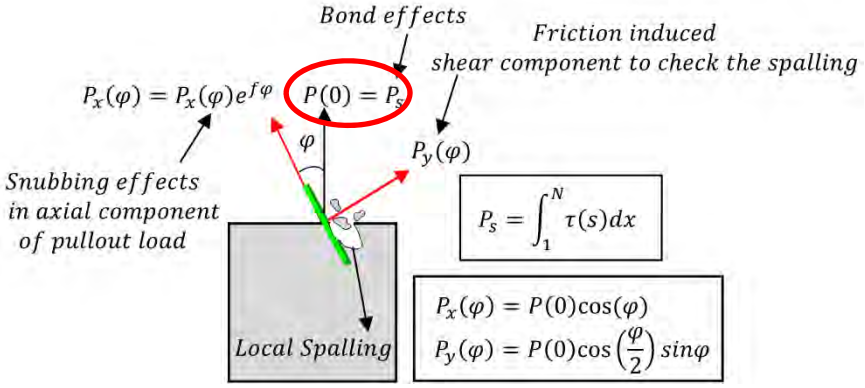
Hook End Effects (P_h)

$$N_{sp} = \begin{cases} 1000s - 720s^2;\ s \le 0.6\ mm \\ 2.24s^5 - 35s^4 + 201.6s^3 - 500s^2 + 445s + 172;\ 0.6\ mm < s \le 5.5\ mm \\ 70 - 1.57s;\ s > 5.5\ mm \end{cases}$$

$$N_{norm} = nH\sqrt{\frac{f'_c f_y}{E_f}} \quad \begin{array}{l} H = \mu\rho\theta \\ n = Number\ of\ hinges \end{array}$$

Hook End fiber

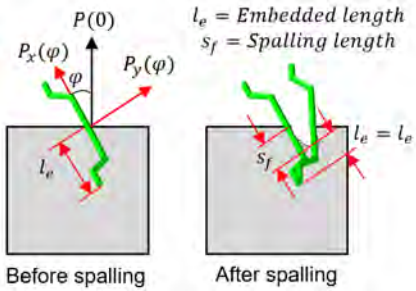
Smooth steel fiber



$$P_s = \int_1^N \tau(s)\,dx$$

$$P_x(\varphi) = P(0)\cos(\varphi)$$
$$P_y(\varphi) = P(0)\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\sin\varphi$$

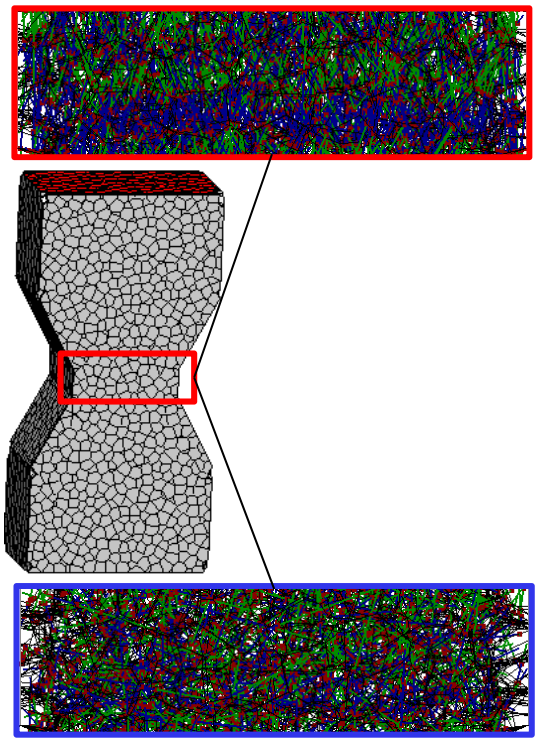
Local spalling effects

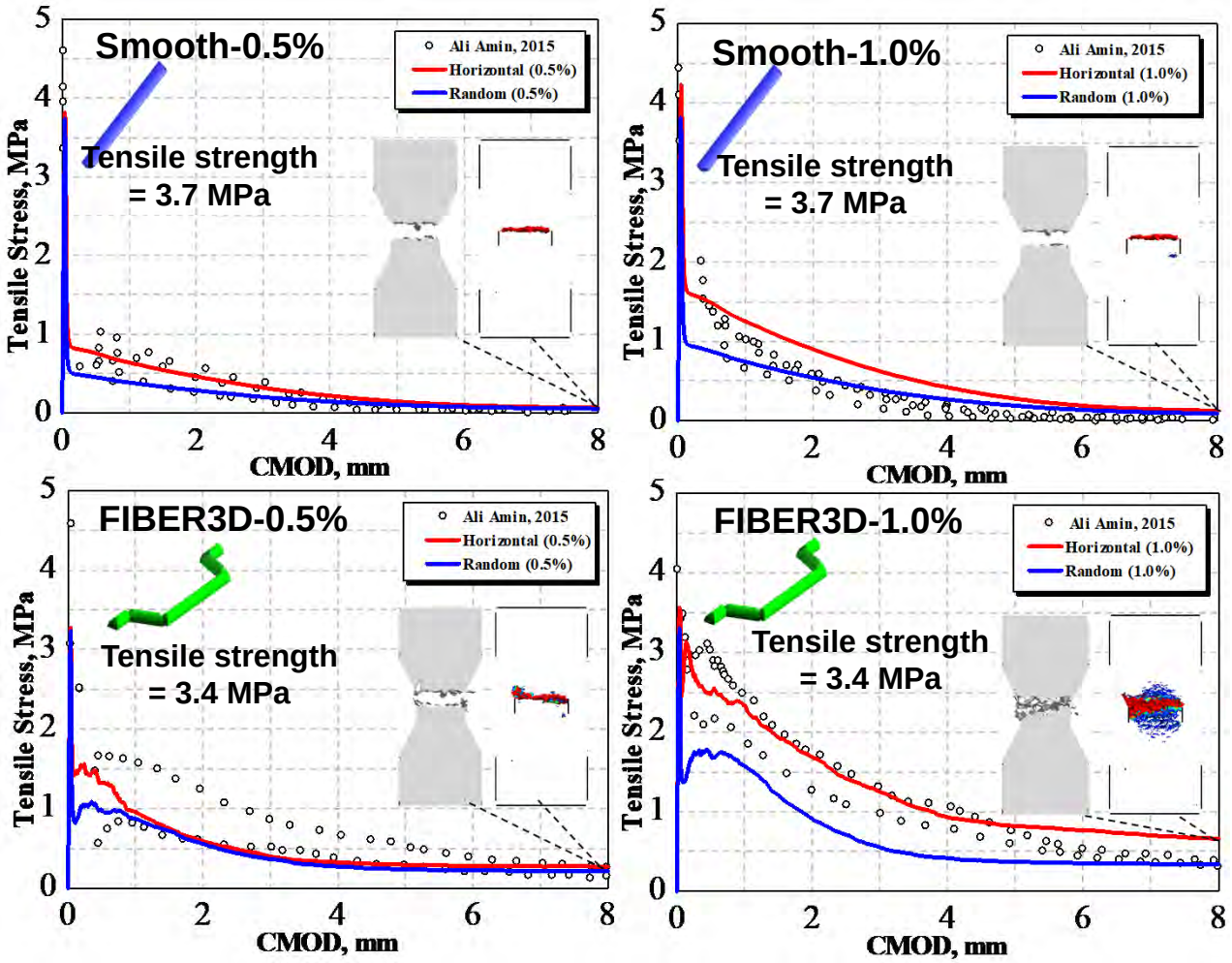


Yang et al. (2008)

$$s_f = \frac{P_y(\varphi)\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\sigma_t d_f \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}$$

鋼繊維補強コンクリートのモデル化

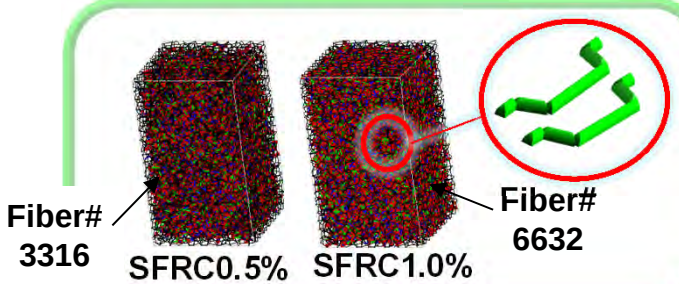




（2023年：CCC）

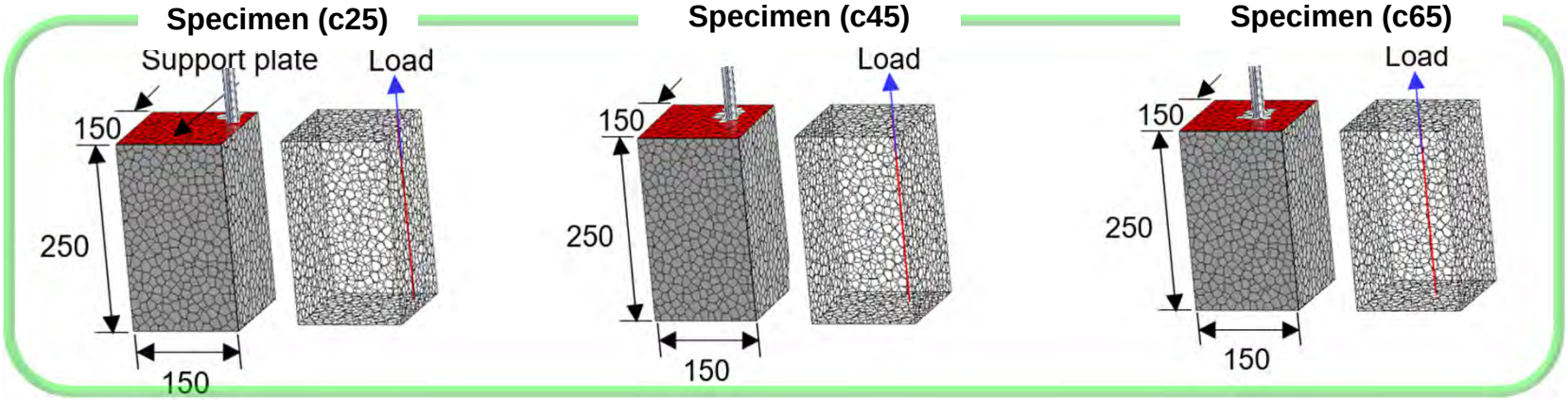
SFRCの付着性能評価

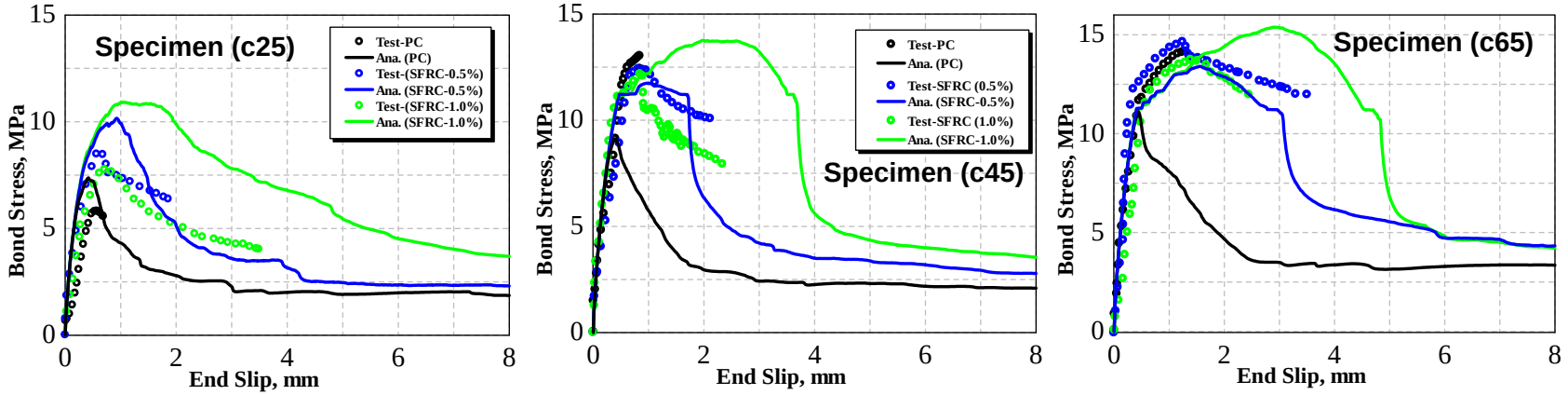




Benger et al. (2021)

FIBER3D	
Fiber length (l_f)	30 mm
Diameter (d_f)	0.6 mm

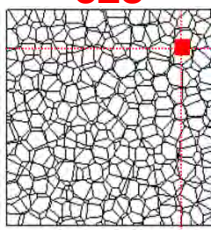
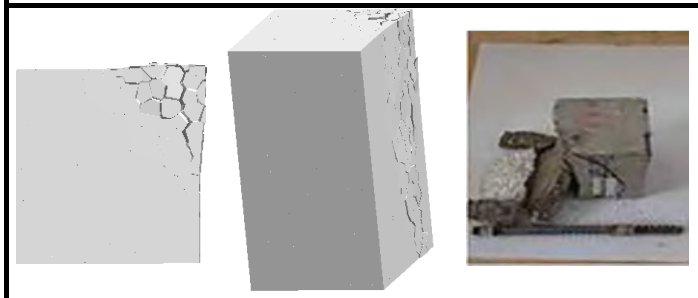
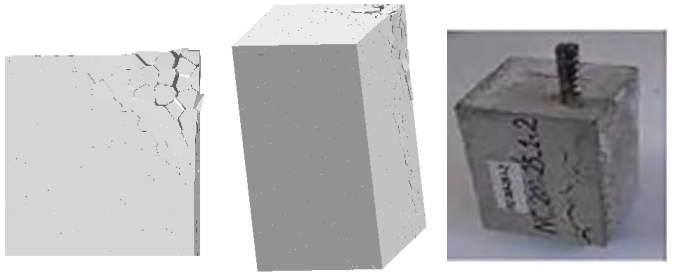
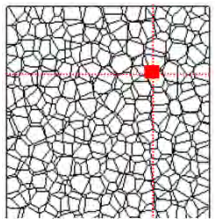
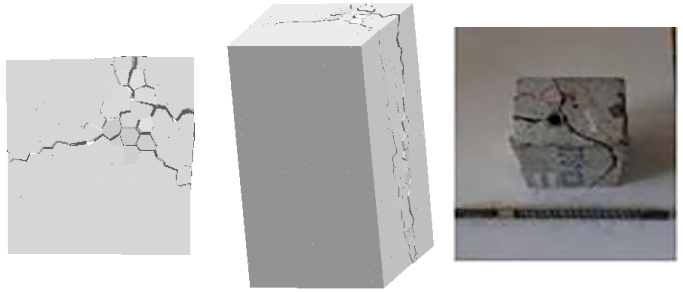
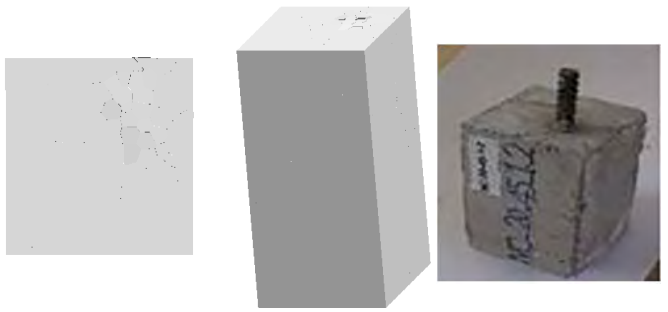
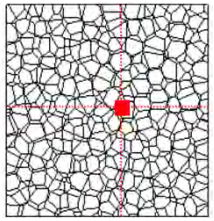
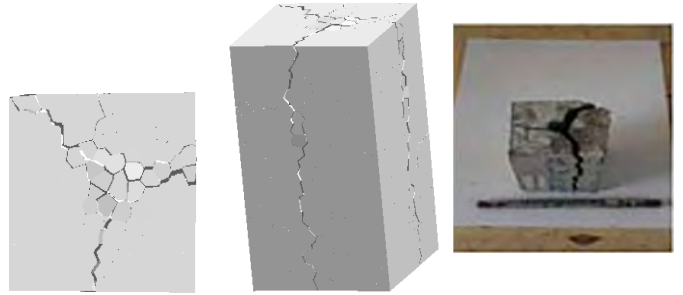
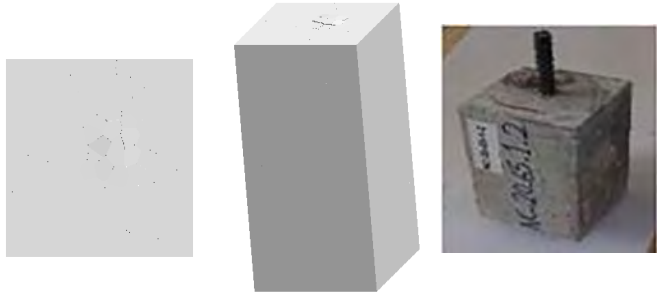




SFRCの付着性能評価



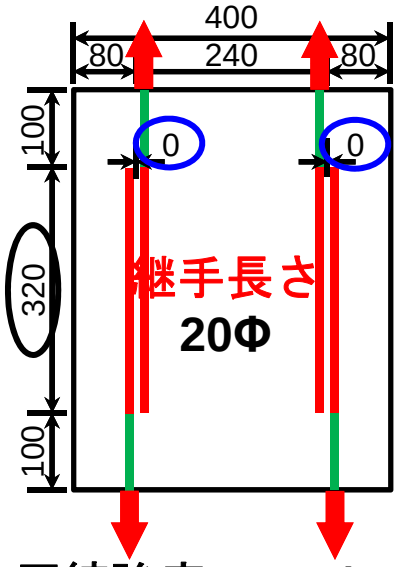
Deformation (x1.0) at slip level = 2.0 mm

	コンクリート	繊維補強-1.0%
c25	 	
c45	 	
c65	 	

SFRCの重ね継手性能評価

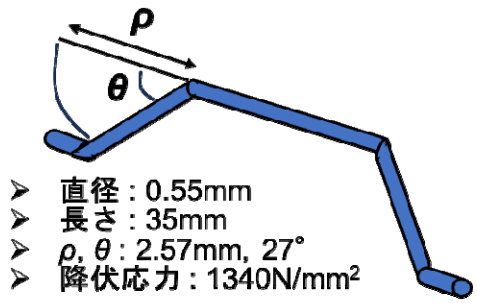


重ね継手部部材に対する補強方法の影響評価



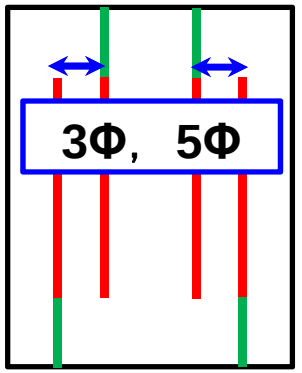
圧縮強度：30N/mm²

3Dフック端繊維

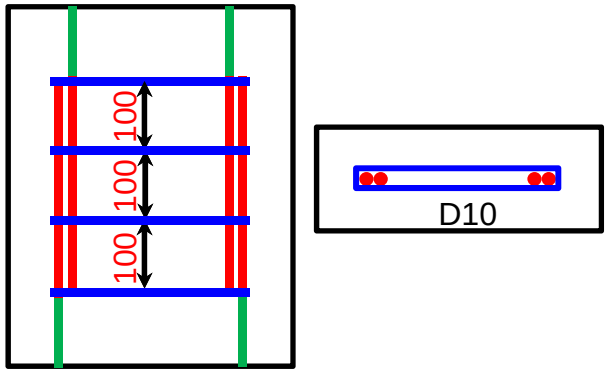


- 直径：0.55mm
- 長さ：35mm
- ρ, θ：2.57mm, 27°
- 降伏応力：1340N/mm²

✓ 継手あき間隔

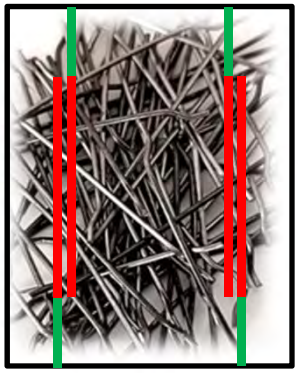


✓ スターラップによる補強



土木学会で規定される
最大間隔100mm

✓ 繊維補強

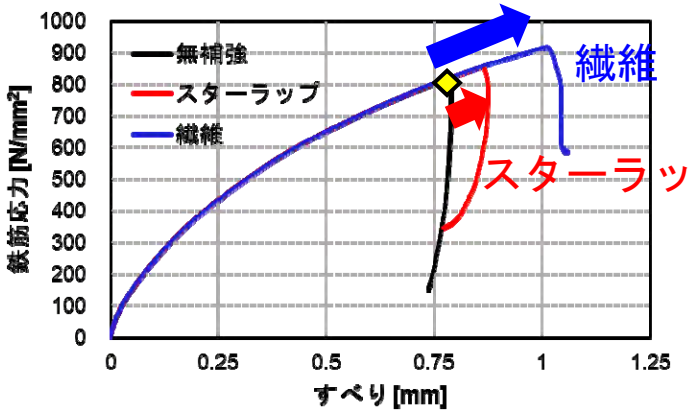


繊維量：1.0%

SFRCの重ね継手性能評価



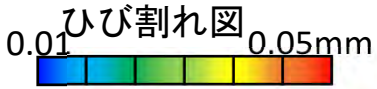
重ね継手部部材に対する補強方法の影響評価

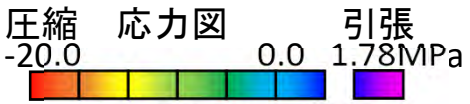


鉄筋応力ーすべり関係

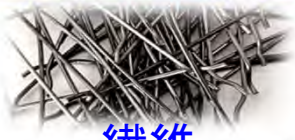


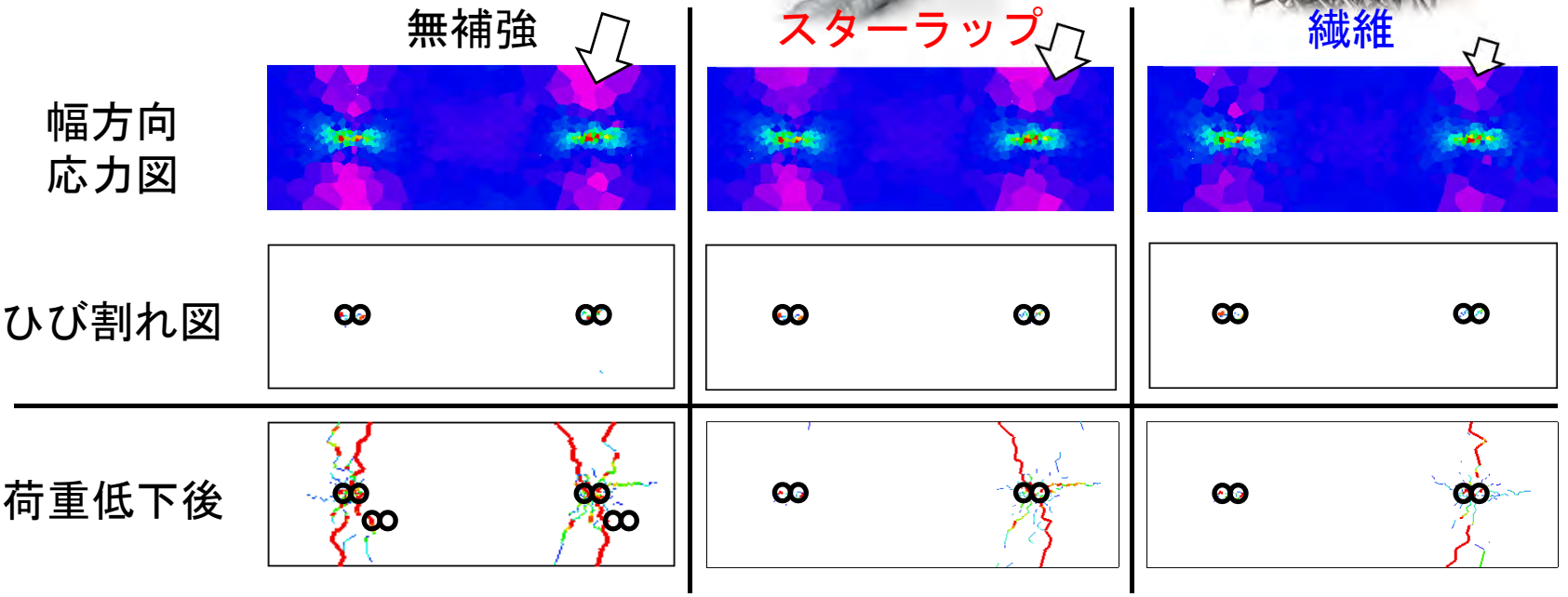
貫通ひび割れの発生が抑制され，SFRCは重ね継手性能向上に有効







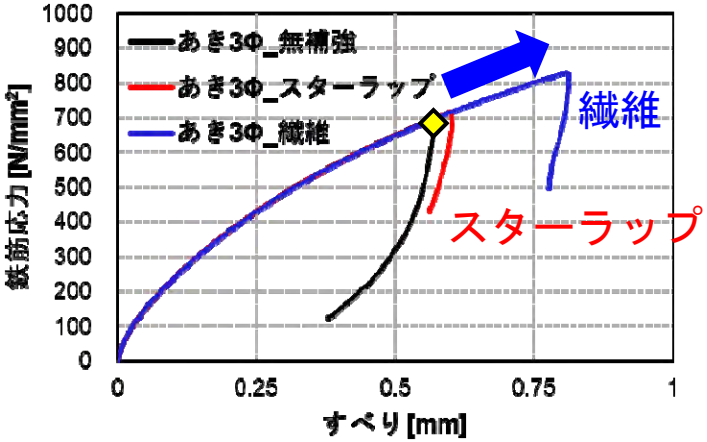




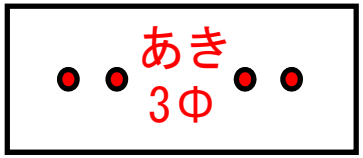
SFRCの重ね継手性能評価



あき重ね継手部部材に対する補強方法の影響評価

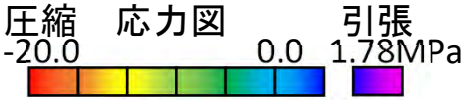


鉄筋応力ーすべり関係



- ✓ スターラップの効果は小さい
- ✓ SFRCはあき重ね継手性能向上により有効









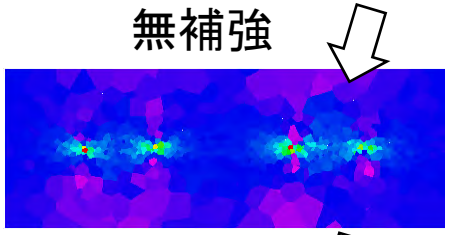
繊維

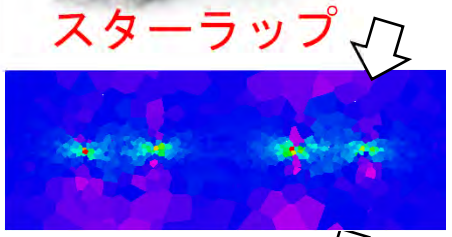
スターラップ

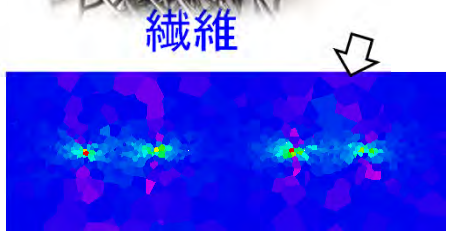
無補強

幅方向
応力図

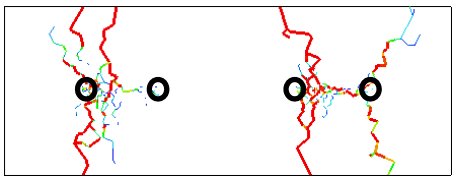
鉛直方向
応力図

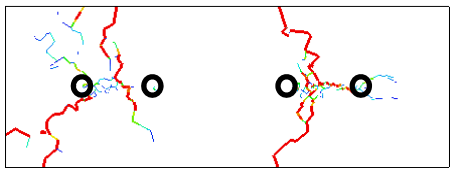


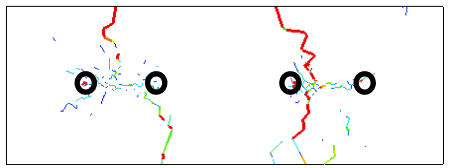




荷重低下後





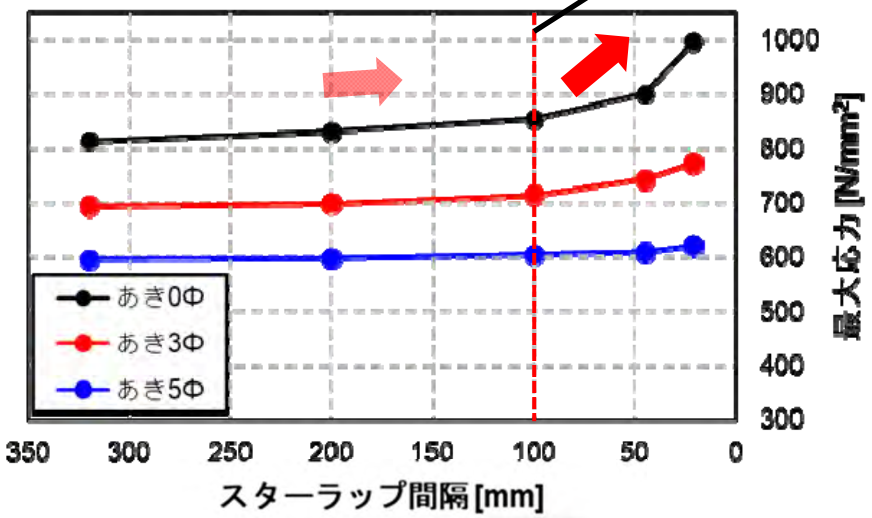


SFRCのあき重ね継手性能評価

◆ 継手あき間隔：0Φ，3Φ，5Φ
◆ スターラップ間隔：320，200，100，45，21mm
◆ 繊維量：0，0.5，1，2%

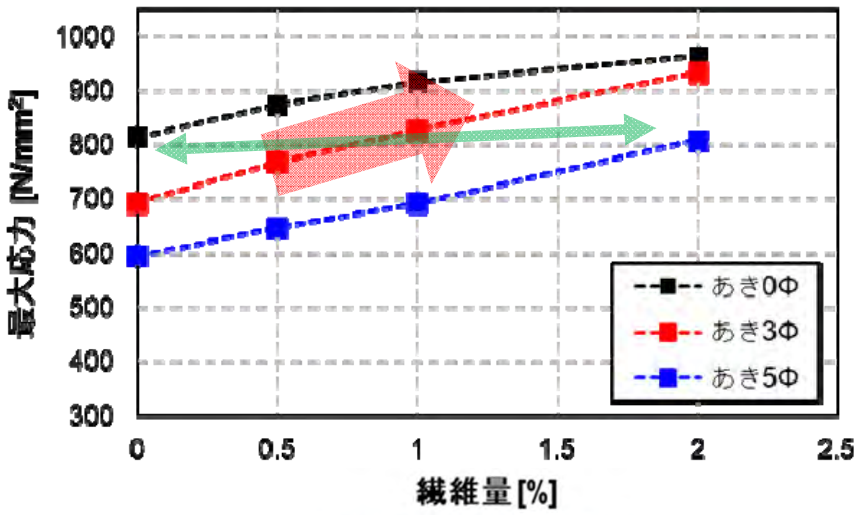
土木学会で定められる最低基準

スターラップ





鋼繊維





注意：鉄筋応力が500MPa以上の場合を議論。
通常鉄筋では、使用可能範囲を挙げてもいいのでは。
逆に高強度鉄筋の利用時は十分に注意を。

結論



1. 鋼材に関わる構造細目は暗黙知となっている。生産性向上に関わる細目も多く、形式知にすることが望まれる。

2. メゾスケール解析の進歩により、付着・定着・継手の性能評価が可能になりつつある。剛体バネモデルを用いると、鉄筋の節をモデル化しなくても、鉄筋を3次元でモデル化した場合と同様の解析が可能である。

3. 付着は、付着力やすべりの問題ではなく、コンクリートのひび割れの問題である。付着を向上させるためには、鉄筋からの伝達力（作用）を向上させるのではなく、コンクリートの抵抗力（抵抗）を上げるのが重要。

4. 鋼材腐食によるひび割れなど、劣化の影響を今後評価していく必要がある。

5. 繊維補強コンクリートの活用が、付着・定着・継手部の性能向上に有用。

文献



1. 山本佳士、中村光、黒田一郎、古屋信明：3次元RBSMによる横拘束コンクリートの1軸圧縮破壊解析，土木学会論文集E, Vol. 66, No. 4, pp.433−451, 2010.
2. Yamamoto, Nakamura, Kuroda, Furuya：Crack propagation analysis of reinforced concrete wall under cyclic loading using RBSM, European Journal of Environmental and Civil Engineering, Vol.18, Issue7, pp.780-792, 2014.2
3. Hikaru Nakamura, Takuya Iwamoto, Li Fu, Yoshihito Yamamoto, Taito Miura and Yasar Hanifi Gedik：Shear resistance mechanism evaluation of RC beams based on arch and beam action, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 16, 563-576, November, 2018
4. 渡辺勇輝，Usman Farooq，中村光，三浦泰人：3次元剛体バネモデルとはり要素を組合わせた手法による腐食したRC部材の付着解析，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.2，pp.643−648, 2019
5. Usman Farooq, Hikaru Nakamura, Taito Miura, Yoshihito Yamamoto : Proposal of bond behavior simulation model by using discretized voronoi mesh for concrete and beam element for reinforcement, Cement and Concrete Composite, 110, 2020
6. Usman Farooq, Hikaru Nakamura, Taito Miura: Bond Behavior Evaluation of Deformed Rebar Dependent on Lateral Pressure Confinement Including Various Structural Parameters, Cement and Concrete Composite, Vol.119, 2021
7. Usman Farooq, Hikaru Nakamura, Taito Miura : Evaluation of Failure Mechanism in Lap Splices and Role of Stirrup Confinement using 3D RBSM, Engineering Structures, Volume 252, February 2022
8. 森 大輔、中島達也、中村光、三浦泰人： 端部にフックを有する重ね継手部の数値解析的評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.44, No.2, pp.829−834，2022
9. Atik Sarraz, Hikaru Nakamura, Toshiyuki Kanakubo, Taito Miura, Hiroya Kobayashi : Bond behavior simulation of deformed rebar in fiber-reinforced cementitious composites using three-dimensional meso-scale model, Cement and Concrete Composite, Volume 131，August 2022
10. Atik Sarraz, Hikaru Nakamura, Taito Miura: Mesoscale modeling of steel fiber based on 3D RBSM considering the effects of fiber shape and orientation, Cement and Concrete Composite, Volume 139, May 2023