

MIDAS
CONSTRUCTION
TECHNICAL
DOCUMENT
COLLECTION

土木構造分野 14



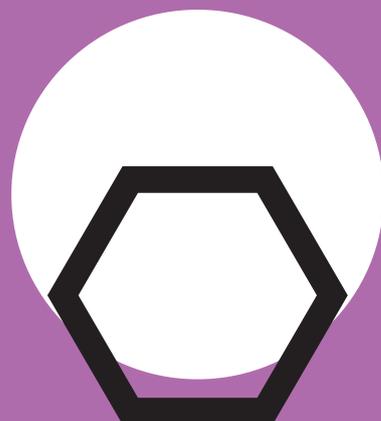
MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

土木分野

14.

コンクリート構造物の
補修・補強と安全性確保

首都大学東京 宇治 公隆 教授



コンクリート構造物の 補修・補強と安全性確保

2016. 7. 27

2016. 8. 25

首都大学東京 宇治公隆

コンクリートの歴史を整理

【関連する出来事】

- 1903年 琵琶湖疏水・日ノ岡橋
(我国初の鉄筋コンクリート橋)
- 1923年 関東大震災
- 1951年 プレストレストコンクリート橋・
長生橋 (我が国で初)
- 1978年 宮城県沖地震

- 1995年 阪神淡路大震災
(兵庫県南部地震)
- 2004年 新潟県中越地震
- 2007年 新潟県中越沖地震
- 2011年 東日本大震災 (東北
地方太平洋沖地震)

【コンクリート標準示方書】

- 1931年 示方書制定 (初版発行)
- 1955年 プレストレストコンクリート設計施工指針
- 1964年 (道路橋示方書)
- 1980年 示方書改訂
(許容せん断応力度の見直し)
- 1986年 示方書改訂
(限界状態設計法への移行)
- 1996年 示方書改訂
(耐震設計編の独立)
- 2002年 示方書改訂
(性能照査型設計)
- 2007年 示方書改訂
(設計編・施工編の連携)
- 2012年 示方書改訂 (環境性能の規定)

示方書改訂の注目事項と
関連する出来事

現在

設計の基準は変化する
例えば、疲労の場合

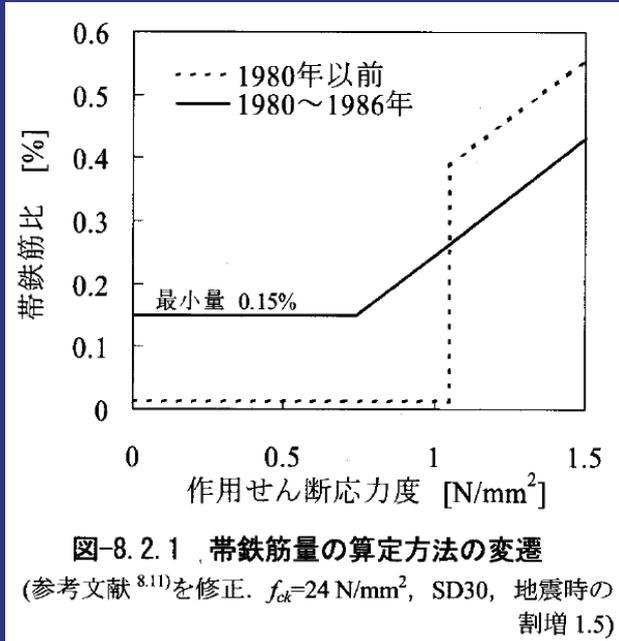
a) 法令の改訂

- ・車両総重量緩和 (H5年度、車両制限令)
- ・設計自動車荷重の変更 (H5年度、道路構造令)

b) 設計基準類の改訂

- ・鉄筋の許容応力度の変更 (S42年道示までは
1800kg/cm²、S43年以降1400kg/cm²)
- ・配力筋の変更 (S39年道示までは主筋の25%以上、
S42年以降70%以上)
- ・床版厚の変更 (S39年以前は19cm)

許容せん断応力度の見直し (昭和55年版コンクリート標準示方書)



プレストレストコンクリート工学会「コンクリート構造診断技術」

阪神大震災後、想定地震力の見直しにより、耐震補強を実施



炭素繊維シートによる耐震補強

5

【材料・施工法に関する出来事】

高度経済成長
(1954-1973)
ポンプ施工
の拡大

バブル景気
(1986-1991)

- 1824年 ポルトランドセメントの特許 (Aspdin(英))
- 1918年 Abramsの水セメント比説
- 1948年 AE剤の導入 (耐凍害性、他)
- 1950年 AE減水剤の導入
- 1953年 JIS A 5308 (レディミクストコンクリート)の制定 (分業化)
- 1962年 高性能減水剤の発明
- 1975年 流動化コンクリートの普及
- 1983年 塩害劣化、アルカリ骨材反応の社会問題化 (コンクリートクライシス)
- 1987年 高性能AE減水剤の開発
- 1988年 ハイパフォーマンスコンクリートの開発 (省力化、品質確保)
- 1997年 低熱ポルトランドセメントのJIS化
- 2002年 エコセメントのJIS化 (資源の有効利用)

現在

材料および施工法における
主だった出来事

6

コンクリート構造物の耐久性

・半永久構造物と言えるか？

「○」でもあり「×」でもある

←適切な施工が成されれば、ほぼ「○」か「△」

環境(塩害、凍害、他)によっても相違

・何年供用できれば良いか？

30年？50年？100年？200年？

←発注者が適切に決める

7

土木学会：2002年にコンクリート標準示方書を改訂

これにより、設計・施工は

仕様規定型

→

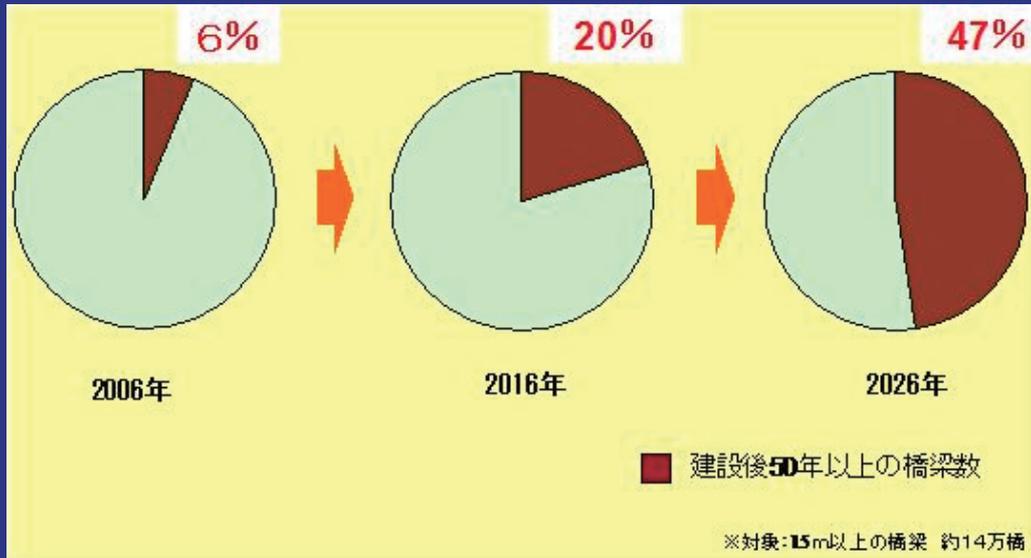
性能規定型

(設計値、使用材料、
施工法を指定)

(**所定の期間**、性能を確保
できれば使用材料、施工
法などは自由)

ただし、現実的には、設計供用期間を過ぎても供用
することを期待している

8



建設後50年以上の橋梁数
(2002年・道路統計年報、15m以上の橋梁)

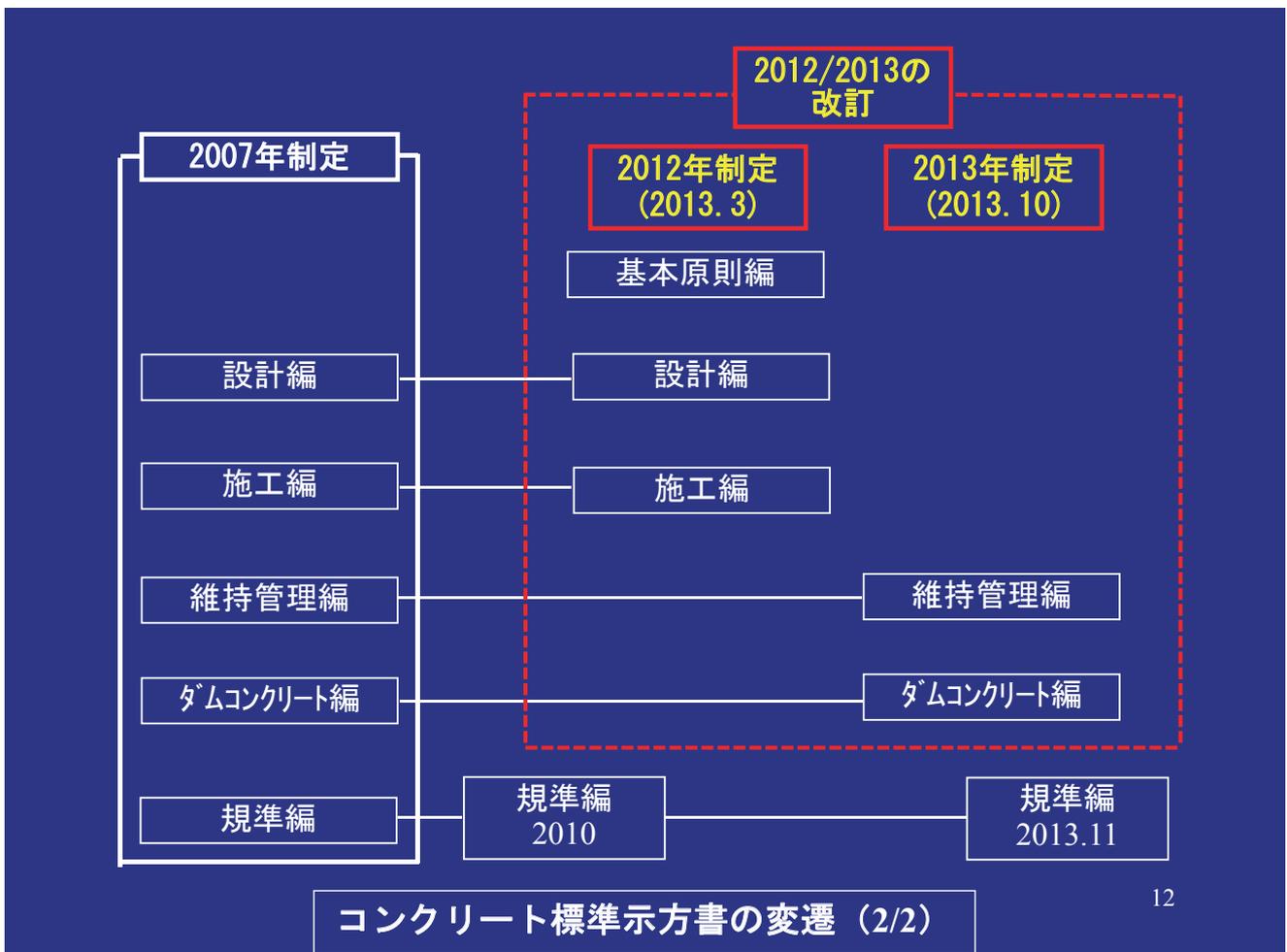
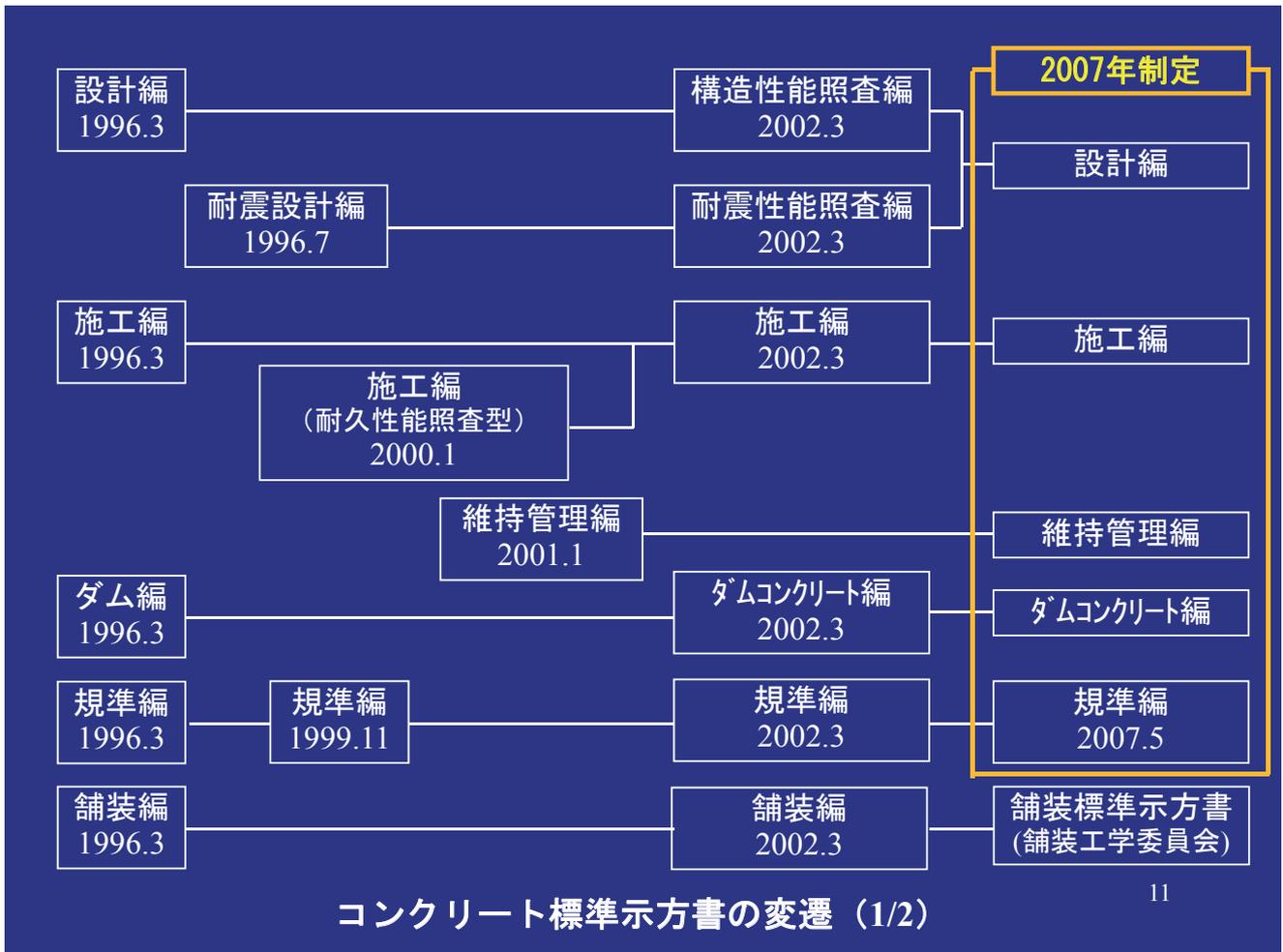
9

コンクリート標準示方書の改訂

○2012年制定 (2013年3月発行)
基本原則編、設計編、施工編

○2013年制定 (2013年10月発行)
維持管理編、ダムコンクリート編

10



炭素繊維格子筋 (CFRP - Grid) を用いた補修・補強

13

CFRP格子筋によるせん断補強



CFRP=Carbon Fiber Reinforced Plastic

(テーマ)

CFRP格子筋と吹付けモルタルによる既設RC梁部材のせん断補強

(背景)

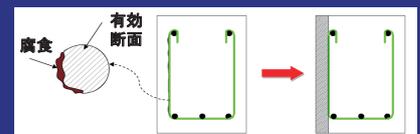
- ・構造物の老朽化
- ・厳しい供用環境下における劣化(海洋構造物の塩害、他)
- ・基準類の見直しによる耐力不足(道路構造令、他)

(目的)

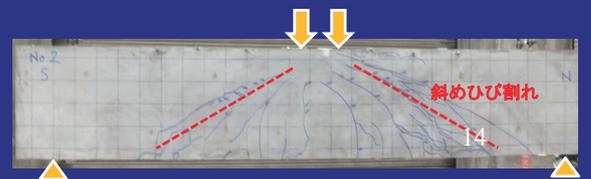
- ・CFRP格子筋を配置し、補修材:ポリマーセメントモルタル(PCM)を吹き付ける補修・補強法の効果検証
- ・既設コンクリートと補修材との一体性の確認
- ・CFRP格子筋のせん断耐力評価法の確立

(試験体)

- ・付着試験体
- ・要素試験体(斜めひび割れ部を対象)
- ・梁試験体



柱の補強の研究もあり
参考:NETIS CG-070011(DSPCG
工法—アキタ建設・福山大学・ク
リテックジャパン)



梁部材の補修手順



1. 既設コンクリート模擬梁の作製



6. 補修後の表面状況



2. プラスト処理



5. モルタル吹付け



3. CFRP格子筋の配置

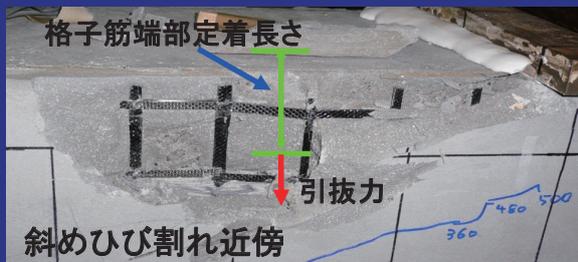
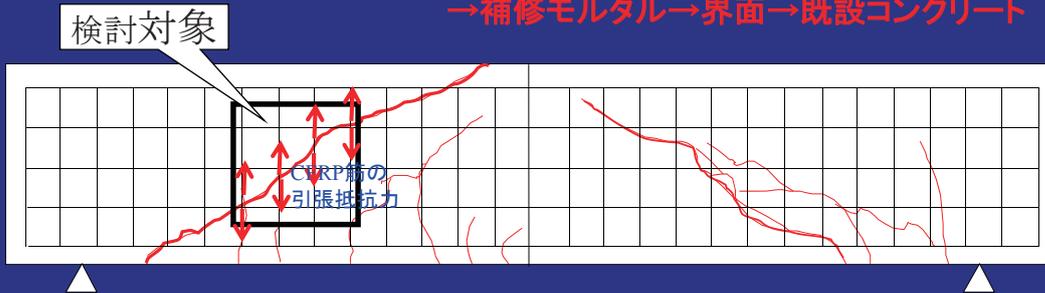


4. プライマー塗布

15

検討対象：斜めひび割れ部近傍

力の伝達：(斜めひび割れ発生)→CFRP縦筋→横筋の抵抗
→補修モルタル→界面→既設コンクリート



プライマー・格子筋種類の影響、せん断付着特性の把握により、せん断抵抗域、せん断耐荷挙動を解明



16

【付着界面の処理方法と接着特性】

・疲労の影響

【要素試験】

・せん断抵抗力、せん断抵抗域の把握

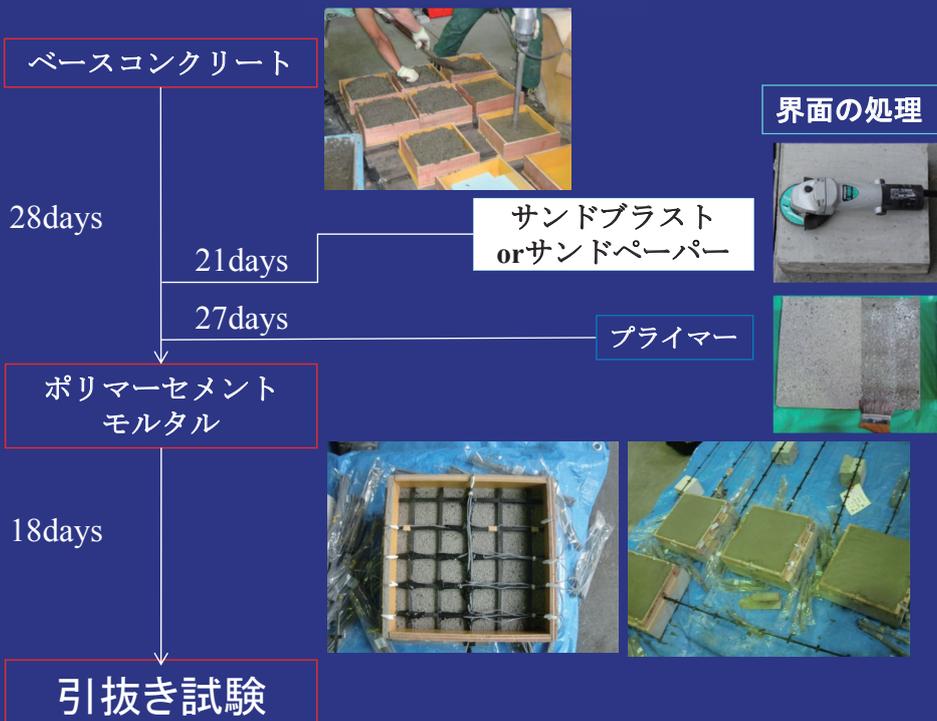
【はり載荷試験】

・せん断耐荷挙動の把握

・補強効果の確認

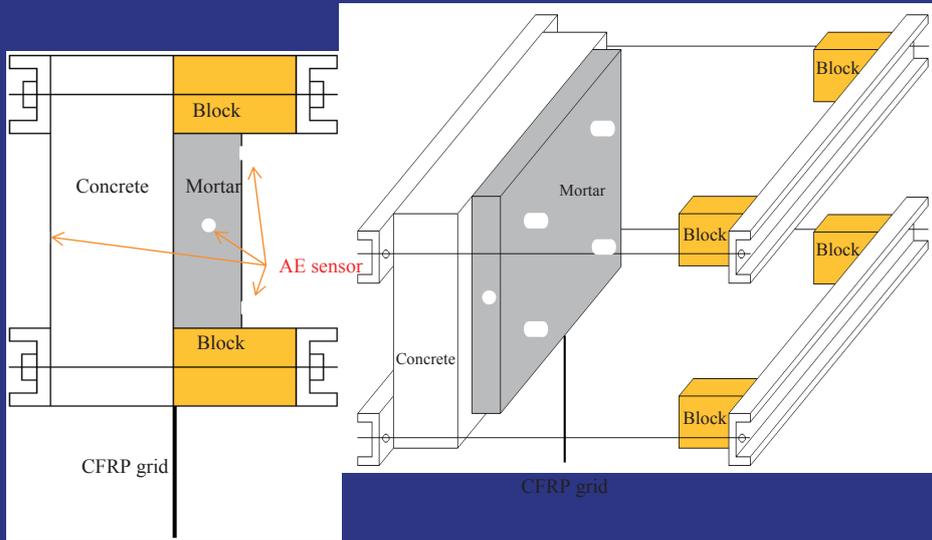
17

要素試験



18

試験方法



コンクリート／吹付けモルタル界面のせん断付着挙動を把握するため、引抜き試験(鉄筋の付着試験を参考に、1本だけ長く伸ばしたCFRP縦筋を引っ張る)を実施。

19

| No. | CFRP grid | Grid Interval (mm) | Primer | Surface treatment | Failure mode |
|-----|-----------|--------------------|----------|-------------------|--------------------|
| 1 | CR6 | 50 | Used | Sand blast | Failure of CFRP |
| 2 | CR6 | 100 | Used | Sand blast | Failure of CFRP |
| 3 | CR8 | 50 | Used | Sand blast | Removing of mortar |
| 4 | CR8 | 100 | Used | Sand blast | Splitting failure |
| 5 | CR8 | 100 | Used | Sand paper | Splitting failure |
| 6 | CR8 | 100 | Not used | Sand blast | Removing of mortar |

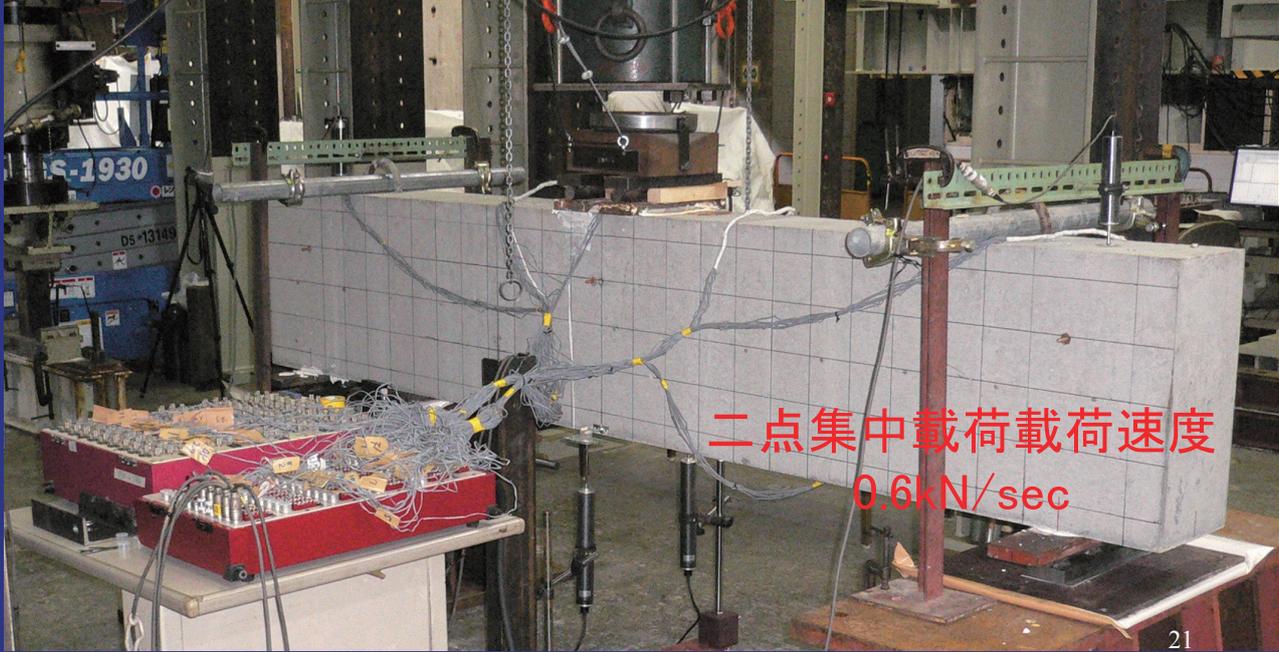
- ・引抜き試験では、試験体に偏心が生じないように調整用ブロックを抱き合わせる形とする。
- ・AE 測定結果をもとに、SiGMA (simplified Green's functions for moment tensor analysis) procedure (Ohtsu *(1991))を利用して、せん断付着抵抗領域の移行特性・破壊部の推定を行う。
* 大津政康教授(熊本大学)



20

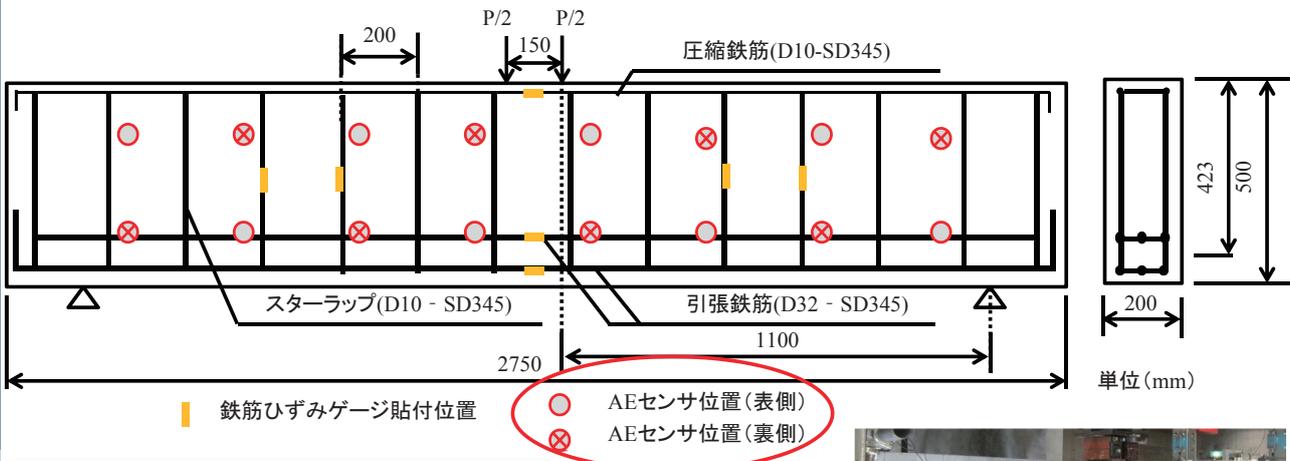
はり載荷試験

曲げひび、斜めひび発生、5kNまで除荷後、終局まで漸増載荷



梁載荷実験 供試体諸元(RC1)

| | 寸法(mm) | 補強筋 | 補強筋総断面積(mm ²) | 吹付け厚(mm) | プライマー | 表面処理 | 備考 |
|-----|--------------|------------------------|---------------------------|----------|-------|------|-------------------------|
| RC1 | 2750×500×200 | D10-SD345@200mm | 2199 | - | - | - | 基準供試体 |
| RC2 | 2750×500×240 | D6-SD345@200+CR8@100mm | 2206 | 20 | 有 | ブラスト | スターラップとCFRP格子筋での補強効果の検討 |
| RC3 | | CR8@100mm | 1415 | | | | CFRP格子筋のみでの補強効果の検討 |



引張鉄筋比 = 4.69%
せん断スパン有効高さ比(a/d) = 2.6

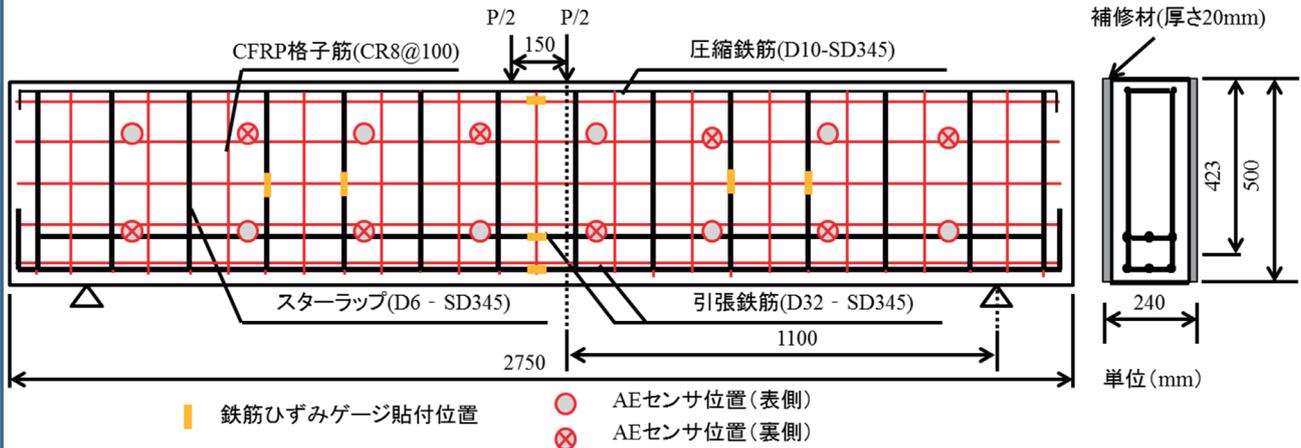
➡ **せん断破壊の先行**



AEセンサの取付け

供試体諸元(RC2)

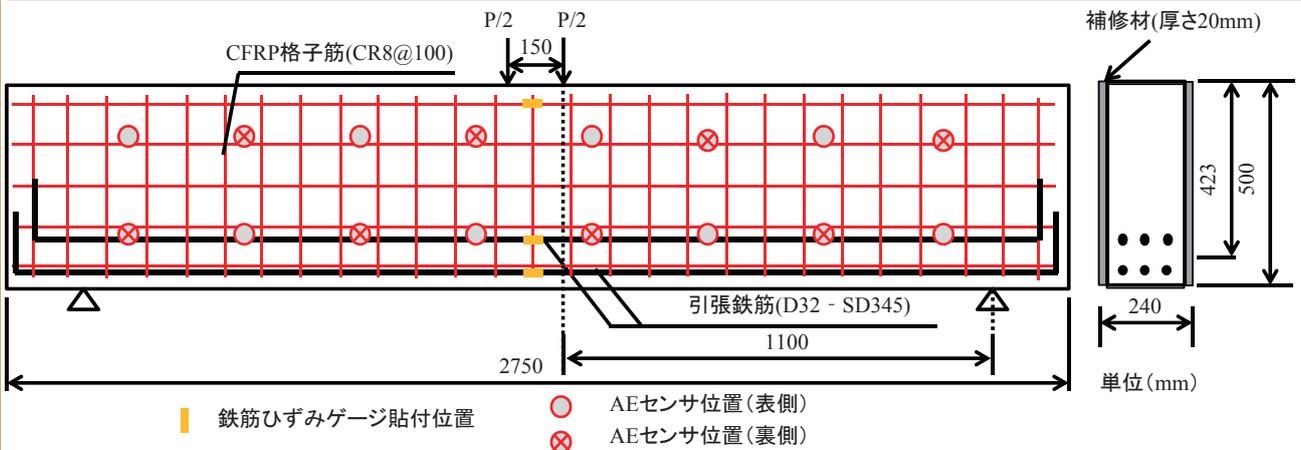
| | 寸法(mm) | 補強筋 | 補強筋総断面積(mm ²) | 吹付け厚(mm) | プライマー | 表面処理 | 備考 |
|-----|--------------|------------------------|---------------------------|----------|-------|------|-------------------------|
| RC1 | 2750×500×200 | D10-SD345@200mm | 2199 | — | — | — | 基準供試体 |
| RC2 | 2750×500×240 | D6-SD345@200+CR8@100mm | 2206 | 20 | 有 | ブラスト | スターラップとCFRP格子筋での補強効果の検討 |
| RC3 | | CR8@100mm | 1415 | | | | CFRP格子筋のみでの補強効果の検討 |



51

供試体諸元(RC3)

| | 寸法(mm) | 補強筋 | 補強筋総断面積(mm ²) | 吹付け厚(mm) | プライマー | 表面処理 | 備考 |
|-----|--------------|------------------------|---------------------------|----------|-------|------|-------------------------|
| RC1 | 2750×500×200 | D10-SD345@200mm | 2199 | — | — | — | 基準供試体 |
| RC2 | 2750×500×240 | D6-SD345@200+CR8@100mm | 2206 | 20 | 有 | ブラスト | スターラップとCFRP格子筋での補強効果の検討 |
| RC3 | | CR8@100mm | 1415 | | | | CFRP格子筋のみでの補強効果の検討 |



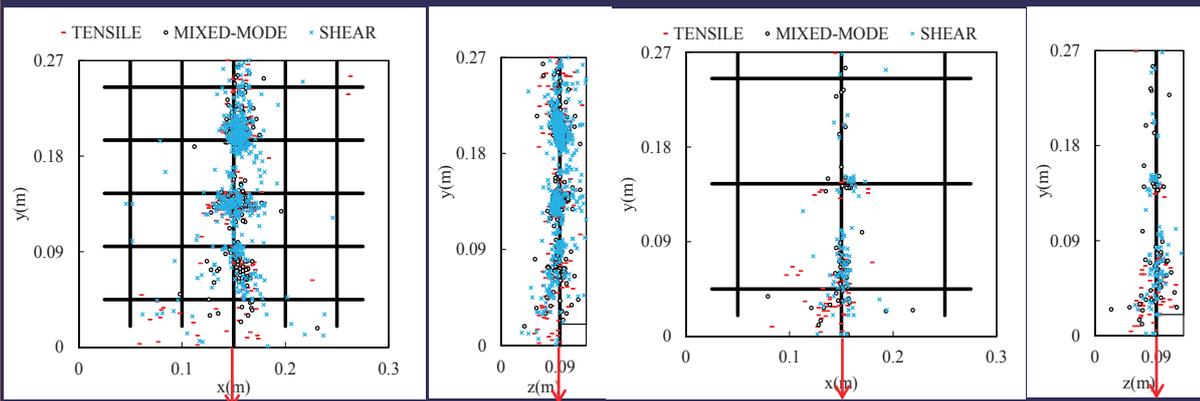
RC3は基準供試体RC1のせん断補強筋の耐力がすべて失われ、補強を行った供試体を模擬

試験結果(その1)

アコースティック・エミッション(AE)法 を用いた破壊過程の把握

25

Results of the SiGMA analysis in No.1 and No.2 specimens.



(a) No.1

(b) No.2

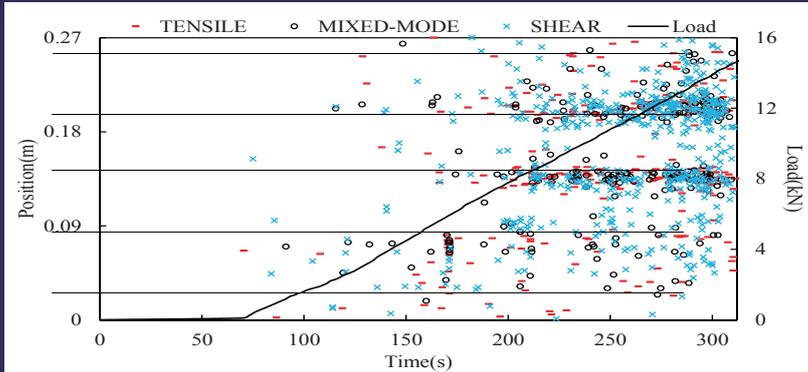
SiGMA 解析により、

- ・AE 発生位置を特定
- ・AE 発生モード(引張型、せん断型、混合型)の分類が可能。

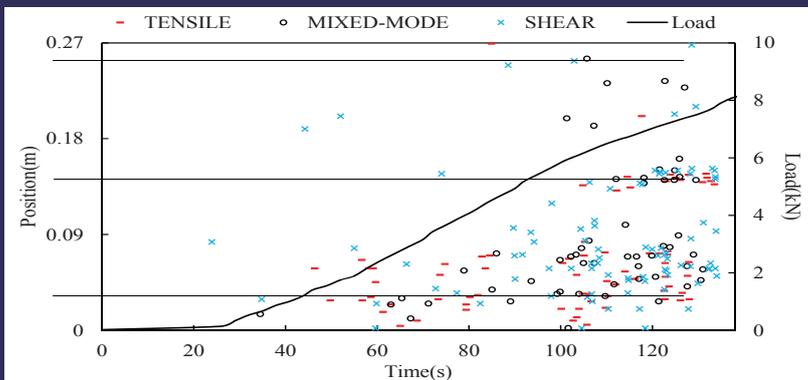
- Tensile mode
- Mixed-mode
- × Shear mode

26

時間の経過をもととした、AE発生位置と作用荷重の関係



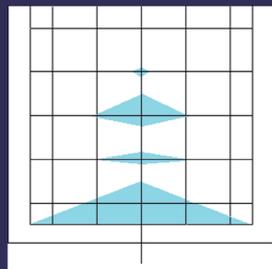
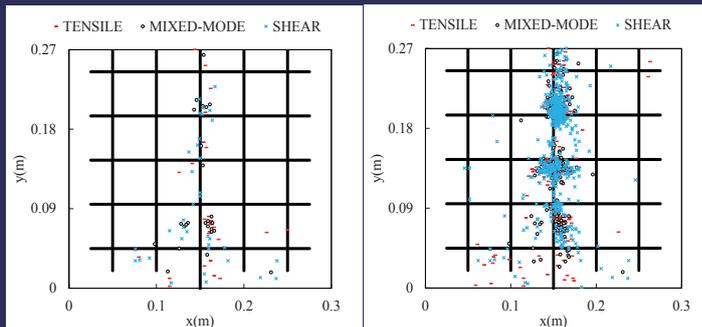
(a) No.1



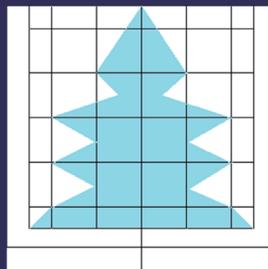
(b) No.2

27

せん断付着抵抗域の移行

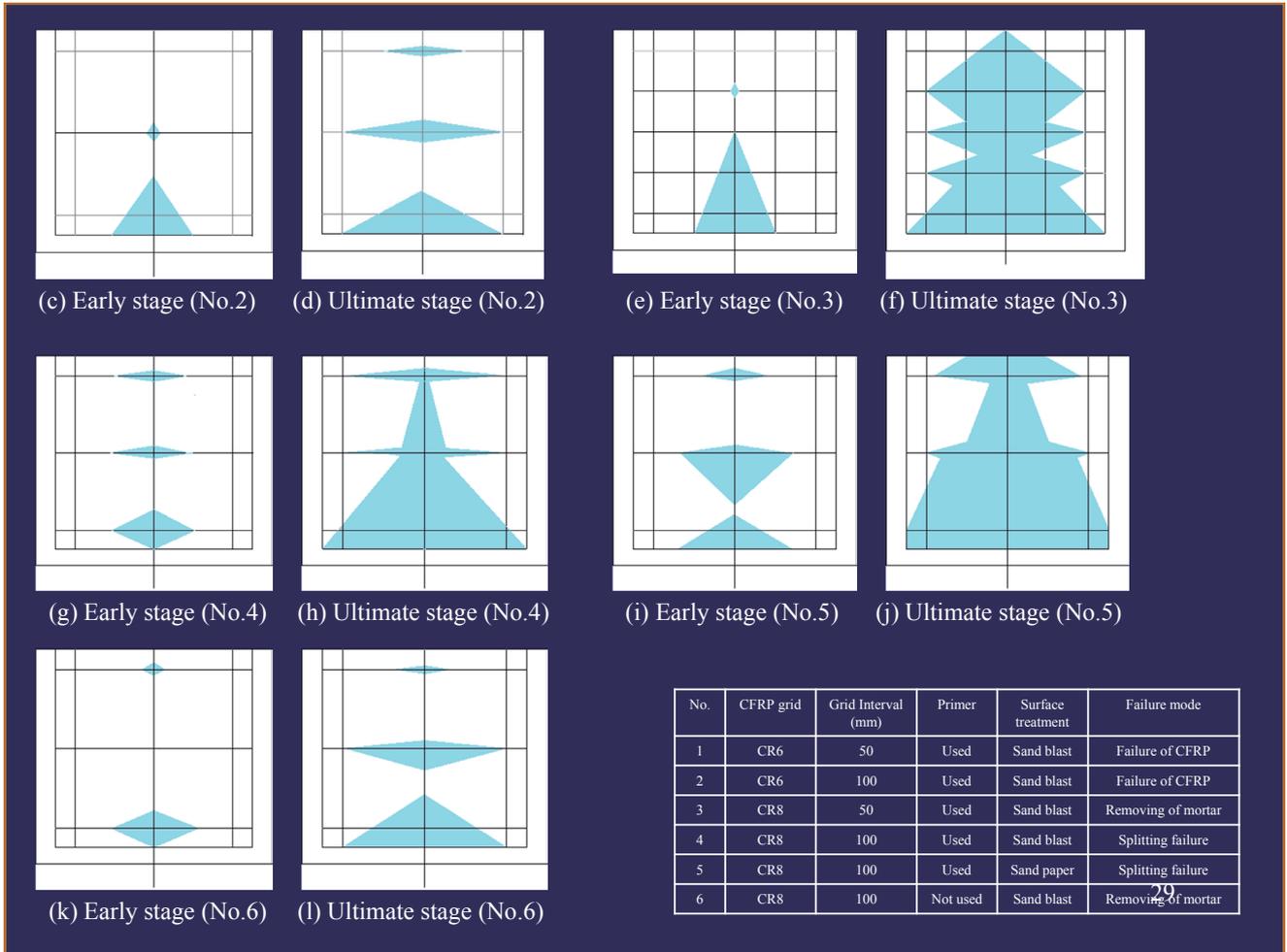


(a) Early stage (No.1)

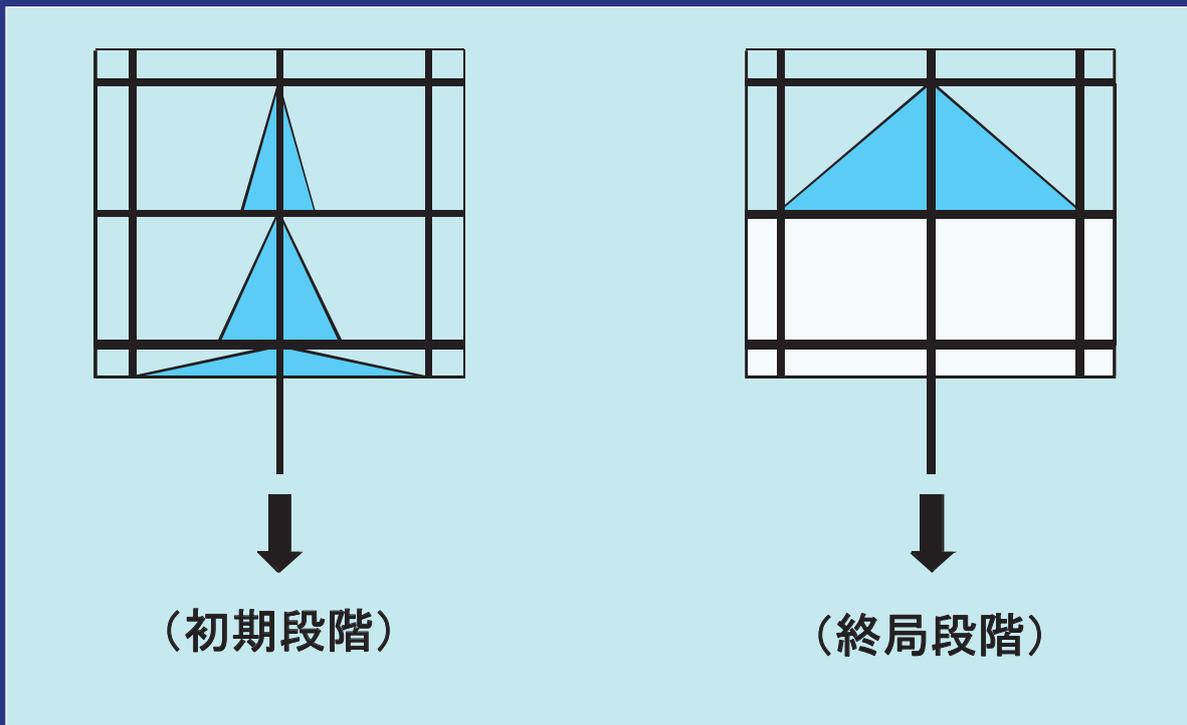


(b) Ultimate stage (No.1)

28



せん断抵抗域の移行



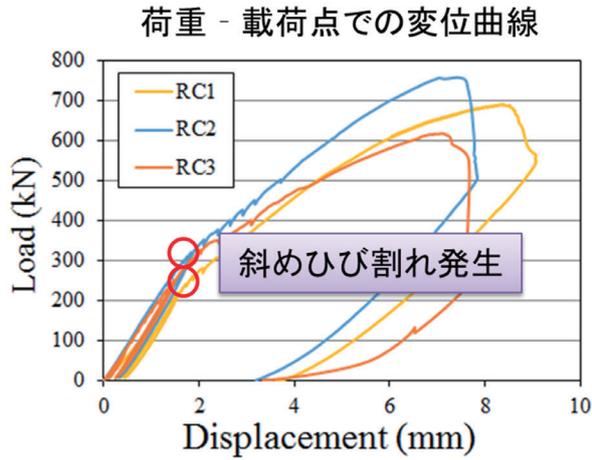
梁試験体の載荷実験結果

載荷実験結果

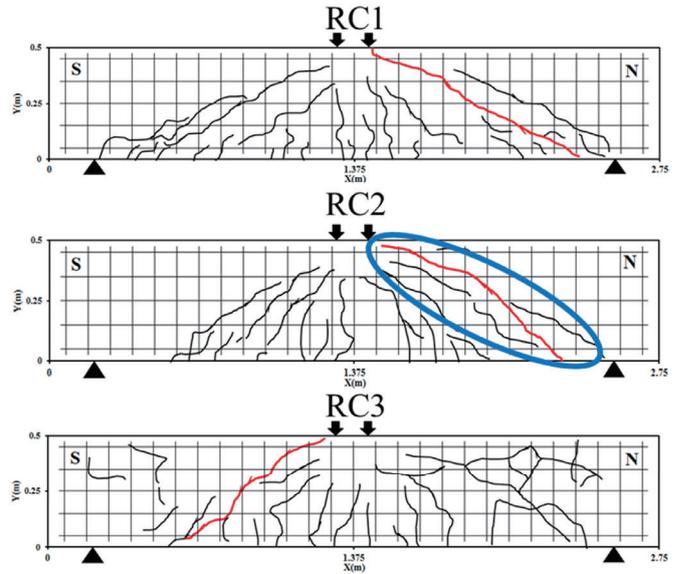
| 供試体 | 曲げひび割れ発生荷重(kN) | | 斜めひび割れ発生荷重(kN) | | 終局荷重(kN) | | 破壊形態 |
|-----|----------------|-----------|----------------|-----------|----------|-------|------|
| | 実験値 | 計算値※1 | 実験値 | 計算値※1 | 計算値※1 | 実験値 | |
| RC1 | 140 | 198 (201) | 210 | 377 (418) | 690 | せん断破壊 | |
| RC2 | 70 | 235 (242) | 320 | 679 (703) | 757 | せん断破壊 | |
| RC3 | 40 | 235 (242) | 225 | 598 (606) | 617 | せん断破壊 | |

※1 ()内は物性試験結果を元に算出

終局荷重の比較より、
せん断補強効果を見込める



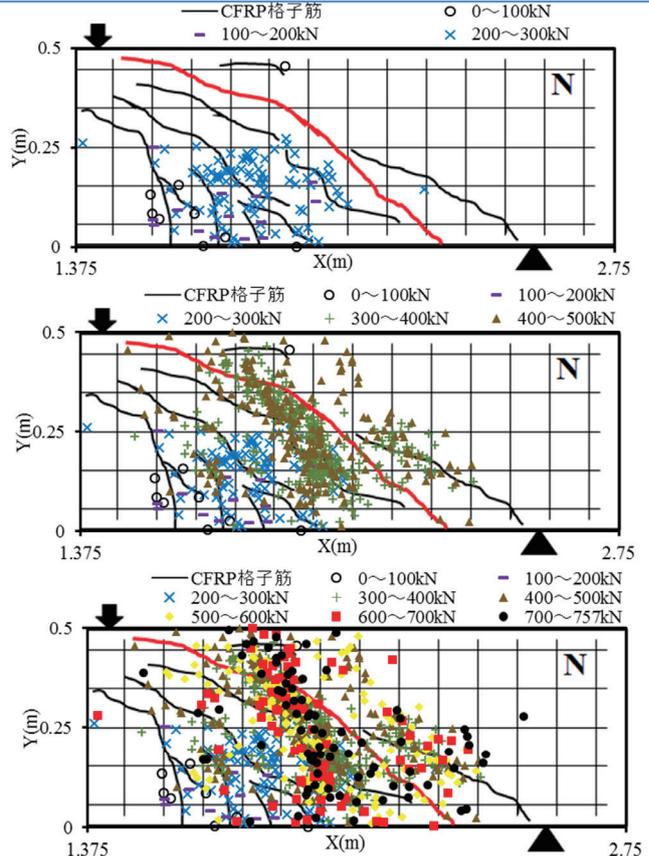
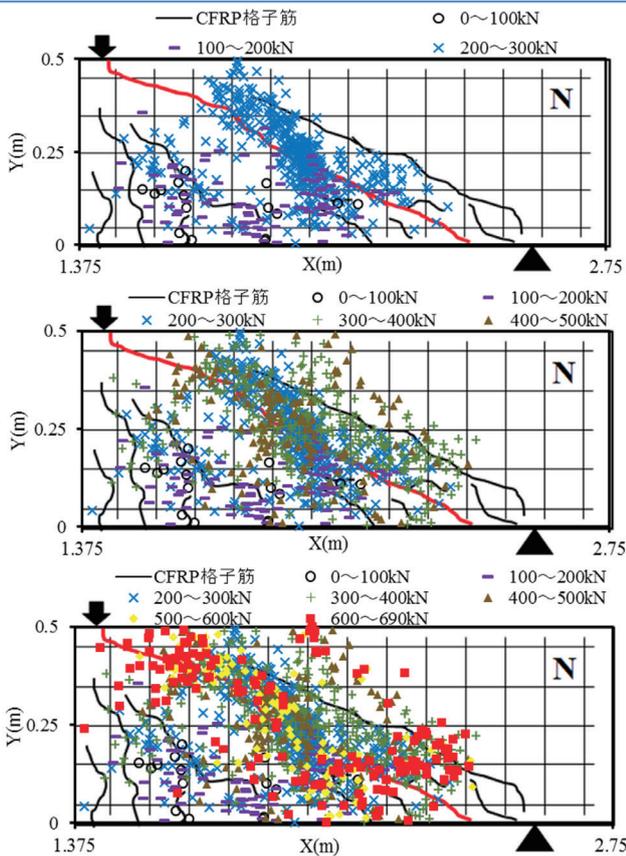
RC梁供試体ひび割れ図



RC1

RC1とRC2のAEイベント位置標定結果

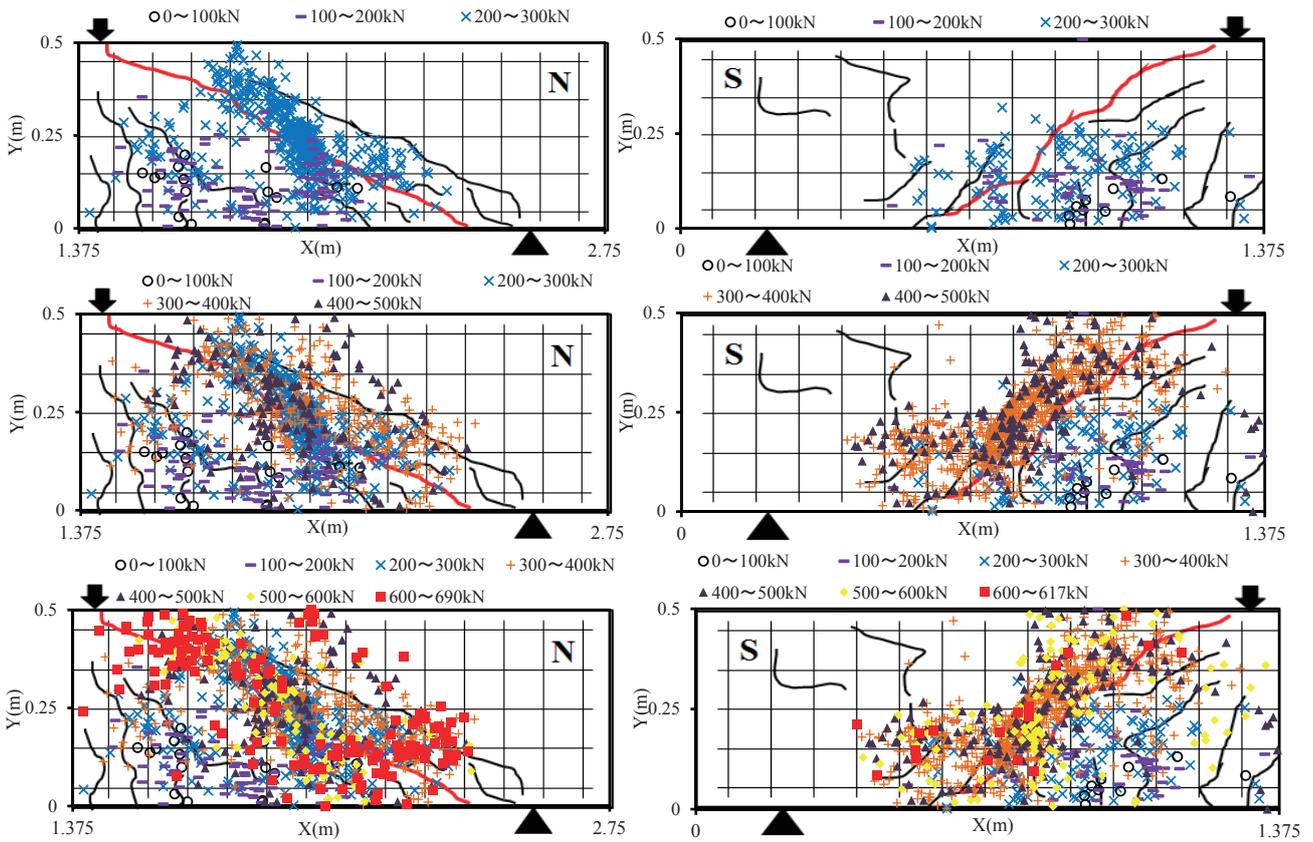
RC2



RC1

RC1とRC3のAEイベント位置標定結果

RC3

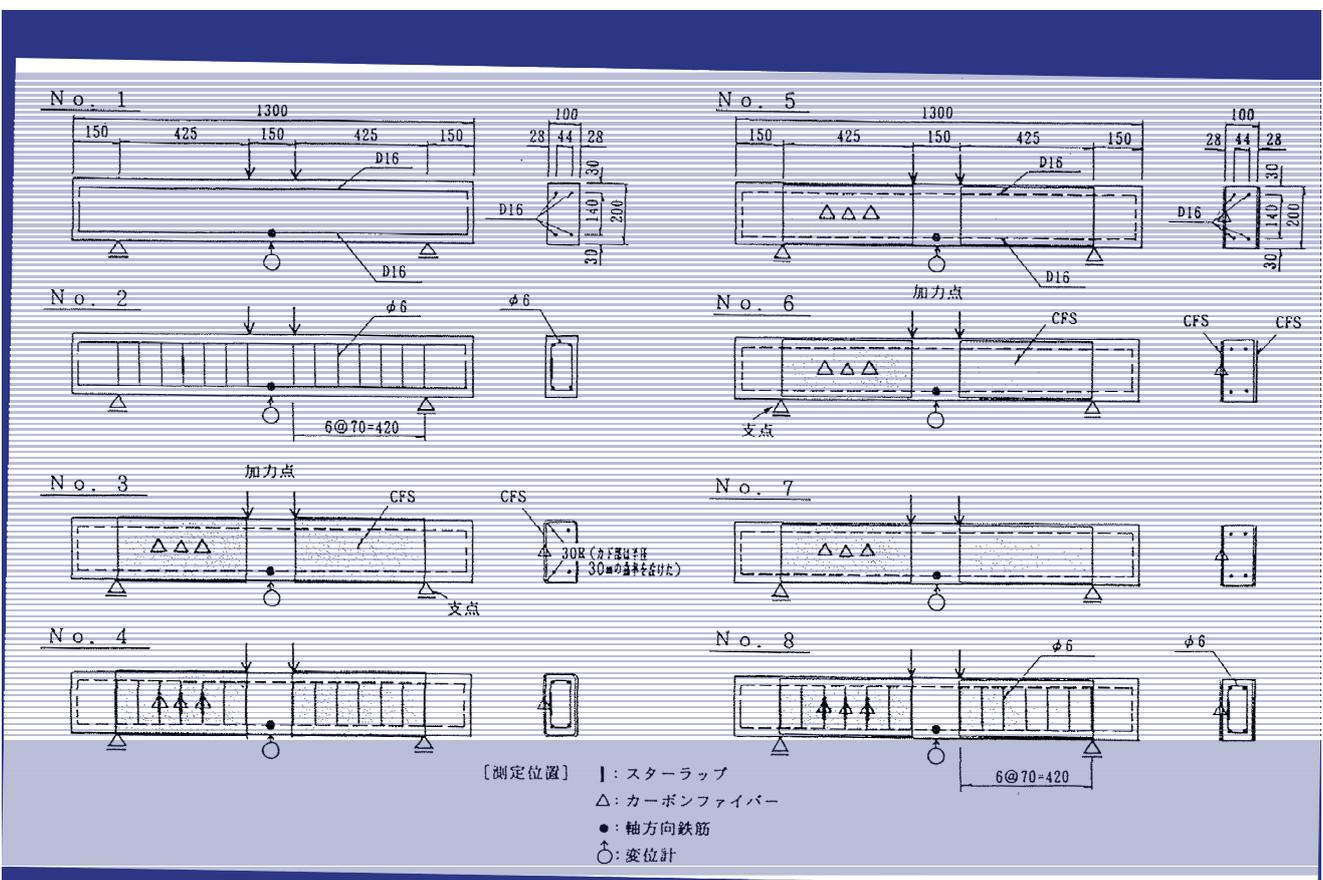


炭素繊維シート(CFRP - Sheet)
を用いたRC梁のせん断補強

炭素繊維シートによる梁せん断補強供試体の要因

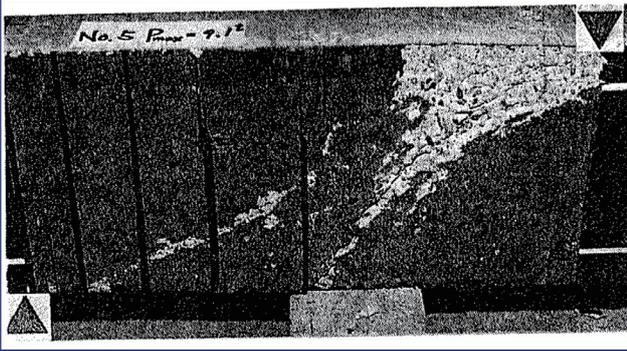
| No. | スターラップの有無 | CFSによる補強状況 | 備考 |
|-----|-----------|------------------------|--|
| 1 | なし | — | 基準供試体(無補強) |
| 2 | あり | — | スターラップ補強； $\phi 6$ -7cmピッチ (せん断補強材比 0.81%) |
| 3 | なし | CFS1周巻き | CFS 175g/m ² ：CF換算厚さ 0.0097cm (せん断補強材比 0.194%) |
| 4 | あり | CFS1周巻き | スターラップ+CFS (せん断補強材比 1.004%) |
| 5 | なし | CFS側面貼付け (鉛直配列) | CFS 175g/m ² ：CF換算厚さ 0.0097cm (せん断補強材比 0.194%) |
| 6 | なし | CFS側面貼付け (斜め45° 配列) | 同上、なおCFSは想定される斜めひびわれに対し直角となるように配列 |
| 7 | なし | CFS側面貼付け (鉛直配列、量2倍) | CFS 350g/m ² ：CF換算厚さ 0.0194cm (せん断補強材比 0.388%) |
| 8 | あり | CFS側面貼付け (鉛直配列) | スターラップ+CFS (せん断補強材比 1.004%) |

35

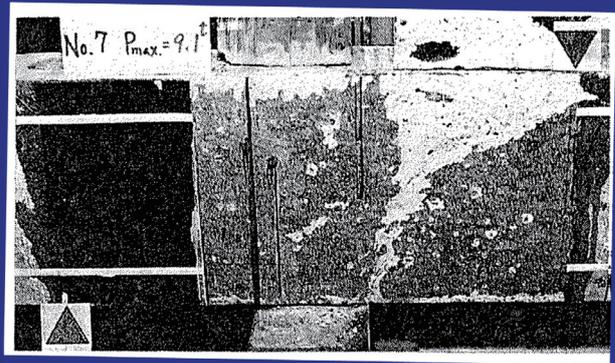


供試体の形状・寸法および測定位置

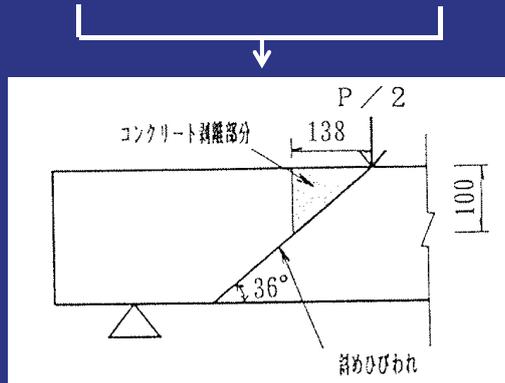
36



No.5 供試体のコンクリート剥離状況



No.7 供試体のコンクリート剥離状況



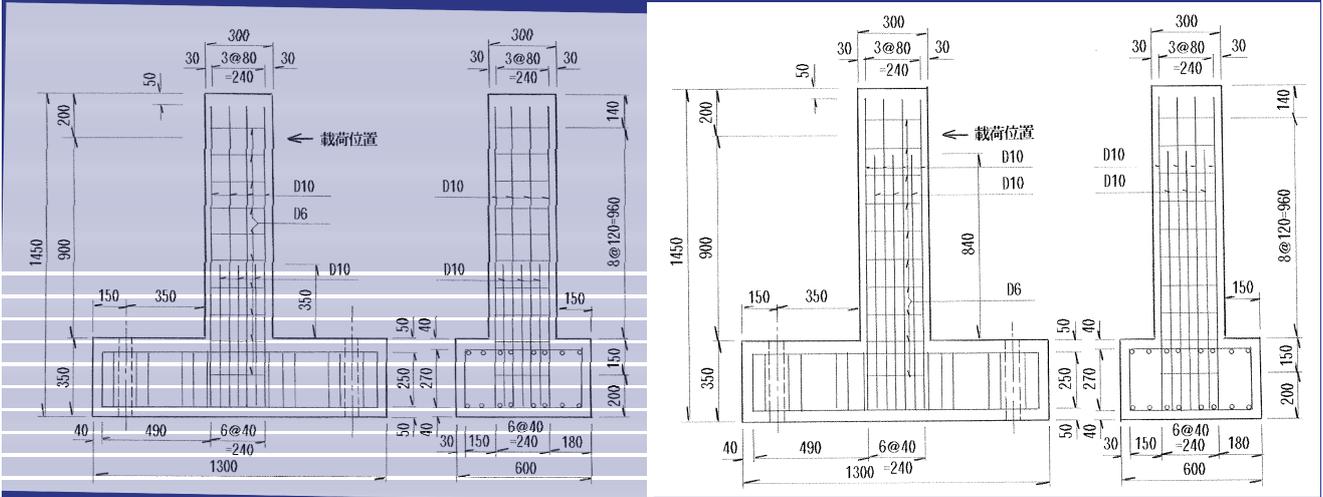
せん断付着抵抗域の
仮定(三角形領域)

No.5, 7供試体(CFS鉛直貼付け)のコンクリート剥離部分

37

炭素繊維シートを用いた
柱状構造物の補強
(途中定着部を有する橋脚)

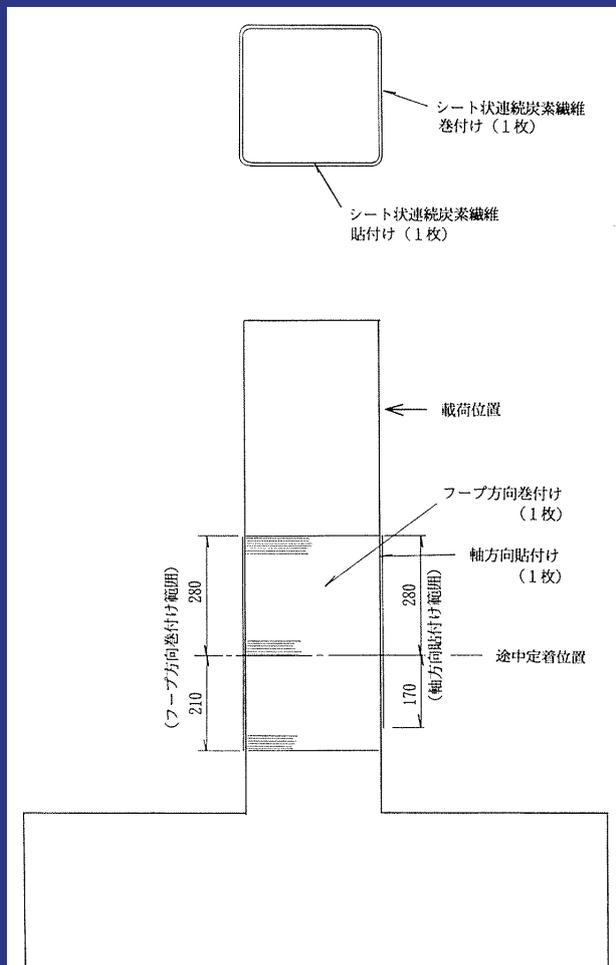
38



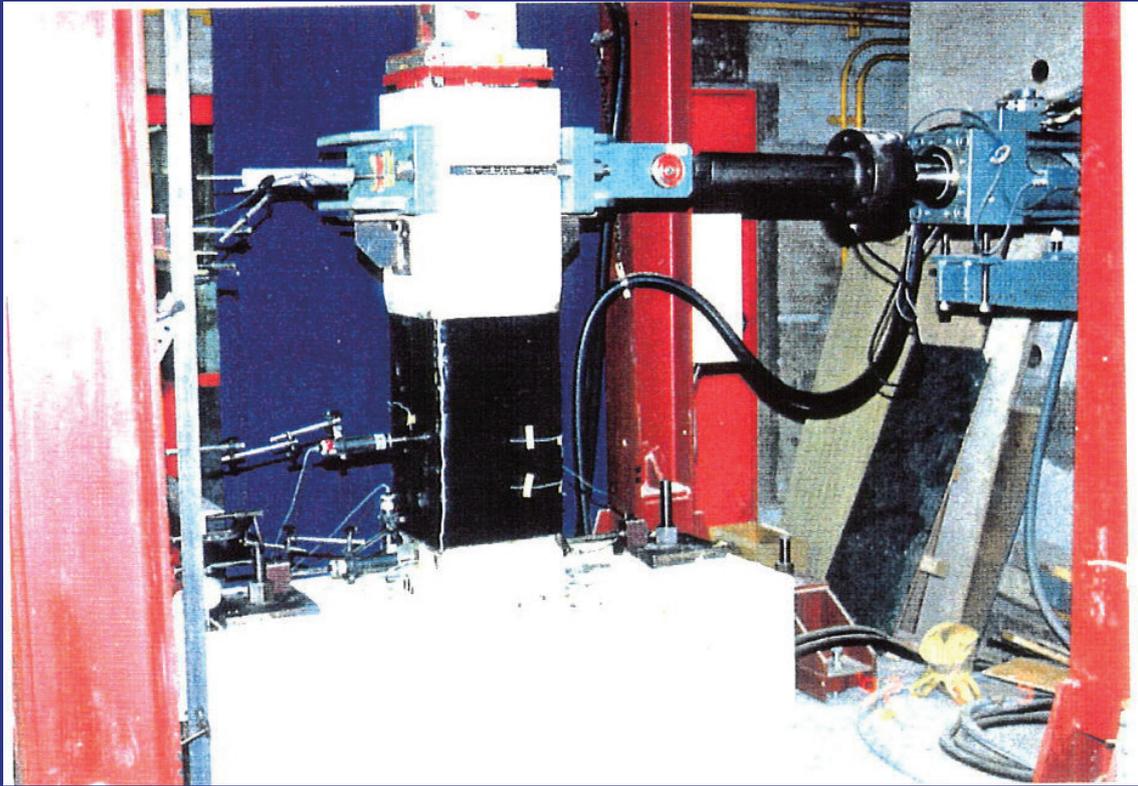
(a) 定着余長なし(No.2供試体・無補強)
(No.4供試体・CFRP補強)

(b) 定着余長あり(No.6供試体・無補強)

柱状供試体の形状・寸法および配筋状況

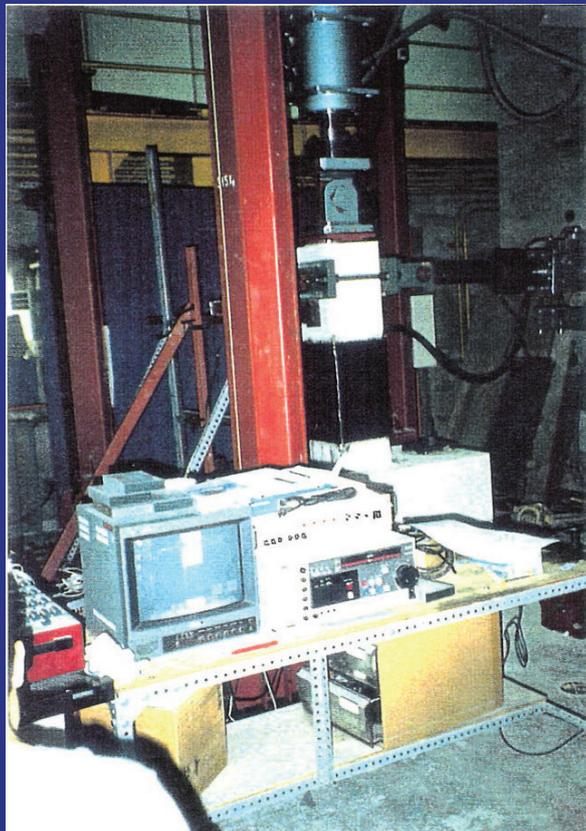


柱状供試体の補強範囲



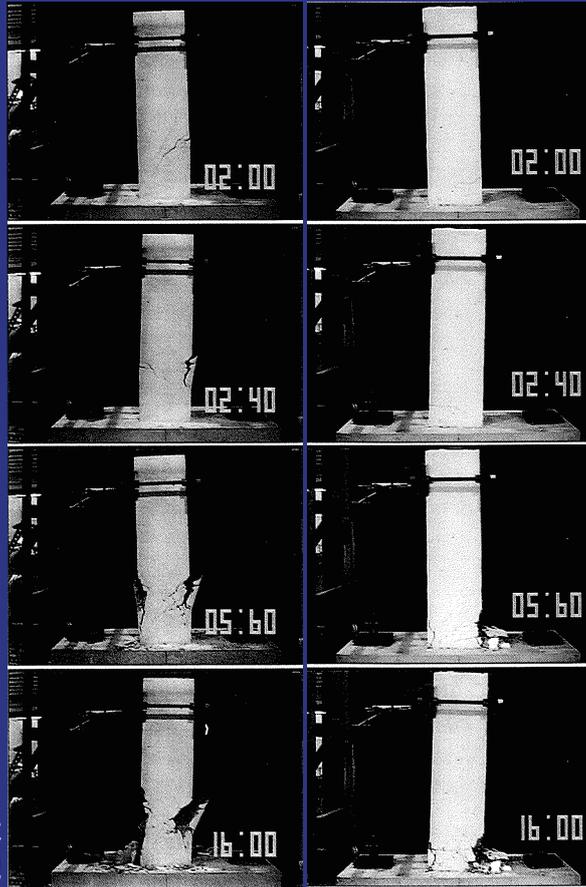
準動的載荷試験 試験状況(水平加力アクチュエータ)
(池田尚治横浜国立大学名誉教授の協力により実施した)

41



映像シミュレーション装置(左:モニター、右:ビデオデッキ)

42

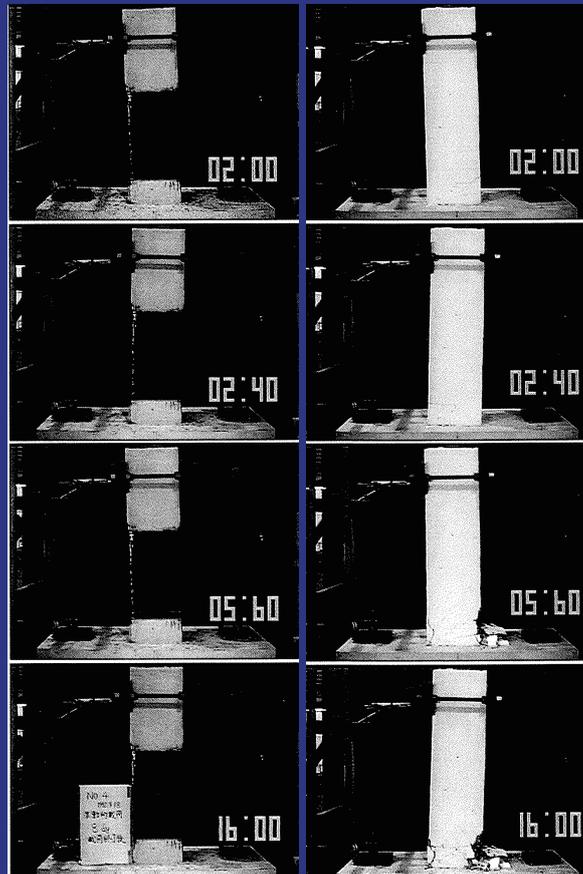


No.2 供試体
破壊レベル(8 δ_y)加振状況

No.6 供試体
破壊レベル(8 δ_y)加振状況

43

地震時劣化挙動(破壊レベル加振時; No.2, 6供試体)



No.4 供試体
破壊レベル(8 δ_y)加振状況

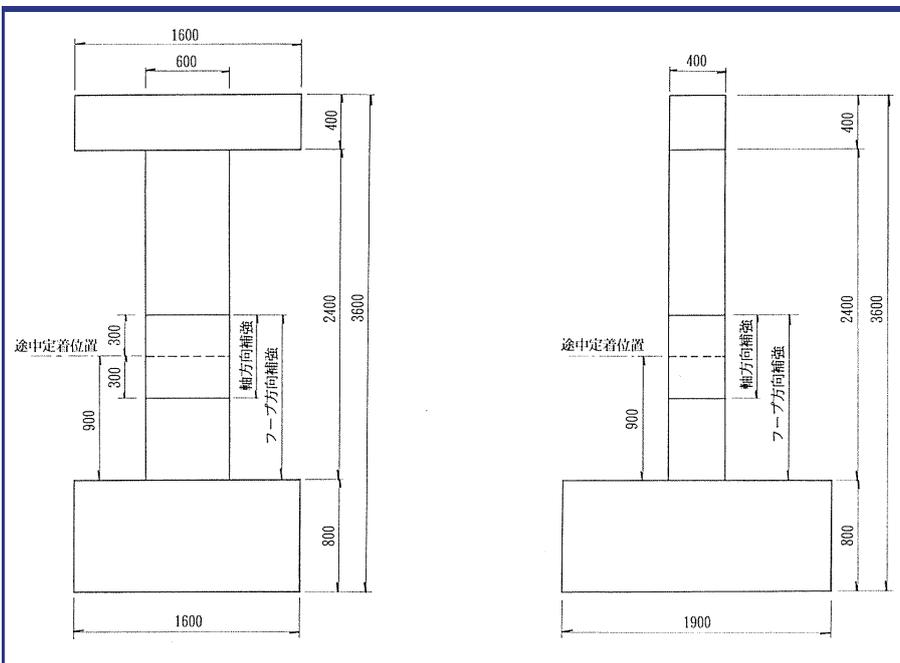
No.6 供試体
破壊レベル(8 δ_y)加振状況

44

地震時劣化挙動(破壊レベル加振時; No.4, 6供試体)

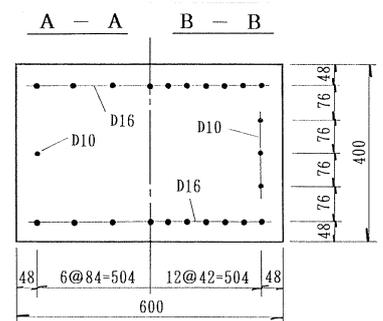
1/3モデル供試体による 炭素繊維シートの補強効果の検証 (静的載荷試験)

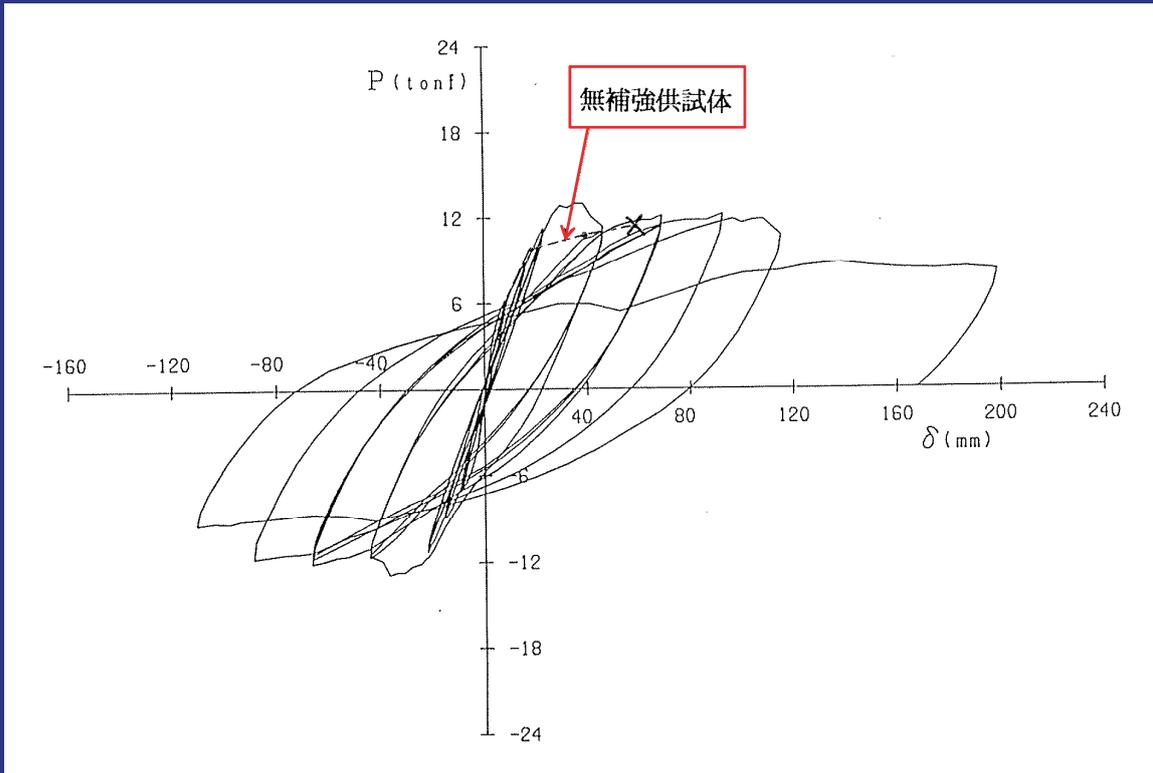
45



1/3モデル供試体の形状・寸法および補強範囲

配筋状況

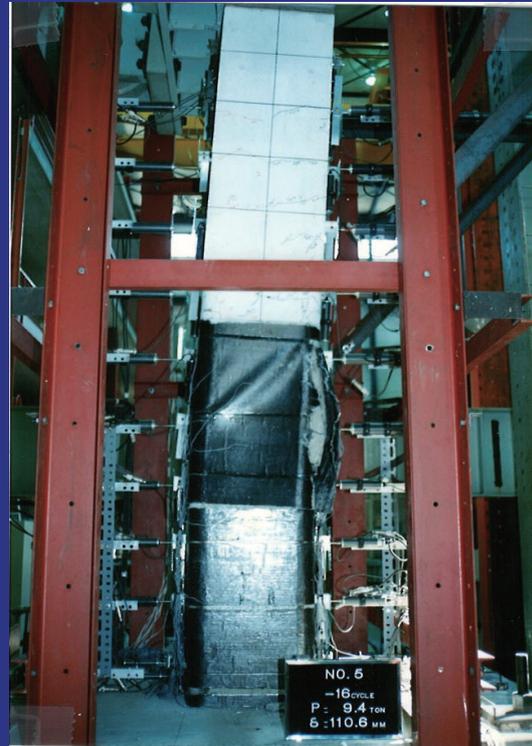




荷重・変位曲線(無補強・補強)



4 δ_y 時の供試体状況



終局時における途中定着部の状況

1/3モデル供試体の変形状況

→ 炭素繊維シートによる補強効果を確認した

以上

土木分野

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION



株式会社マイダスイテジヤパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com | URL <http://jp.midasuser.com/geotech>

Copyright © Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.