

平成19年度山口県技術講習会

コンクリート構造物に発生する 「収縮」ひび割れ対策

2007.10.9

徳山工業高等専門学校

田村 隆弘

1章 報告「ひび割れ分散性能試験」



写真1 ひび割れ分散性能実験(直接引張試験)

ひび割れ分散性能実験 供試体

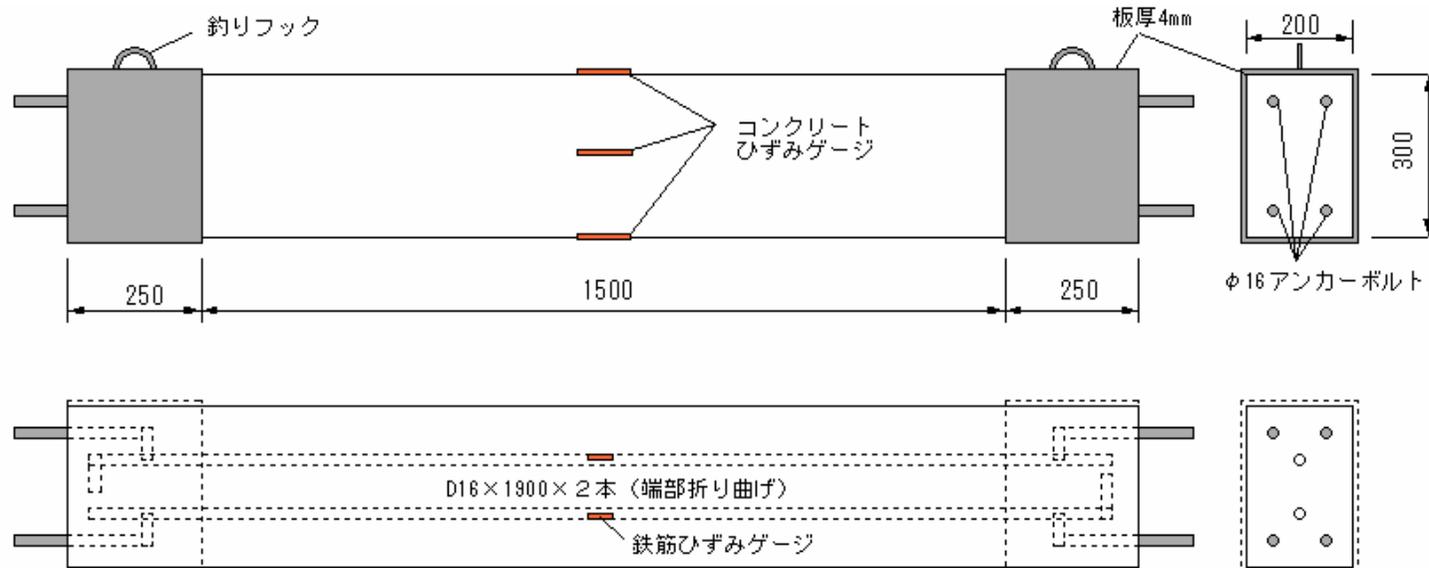


図1 無対策供試体 (鉄筋D16×2本)

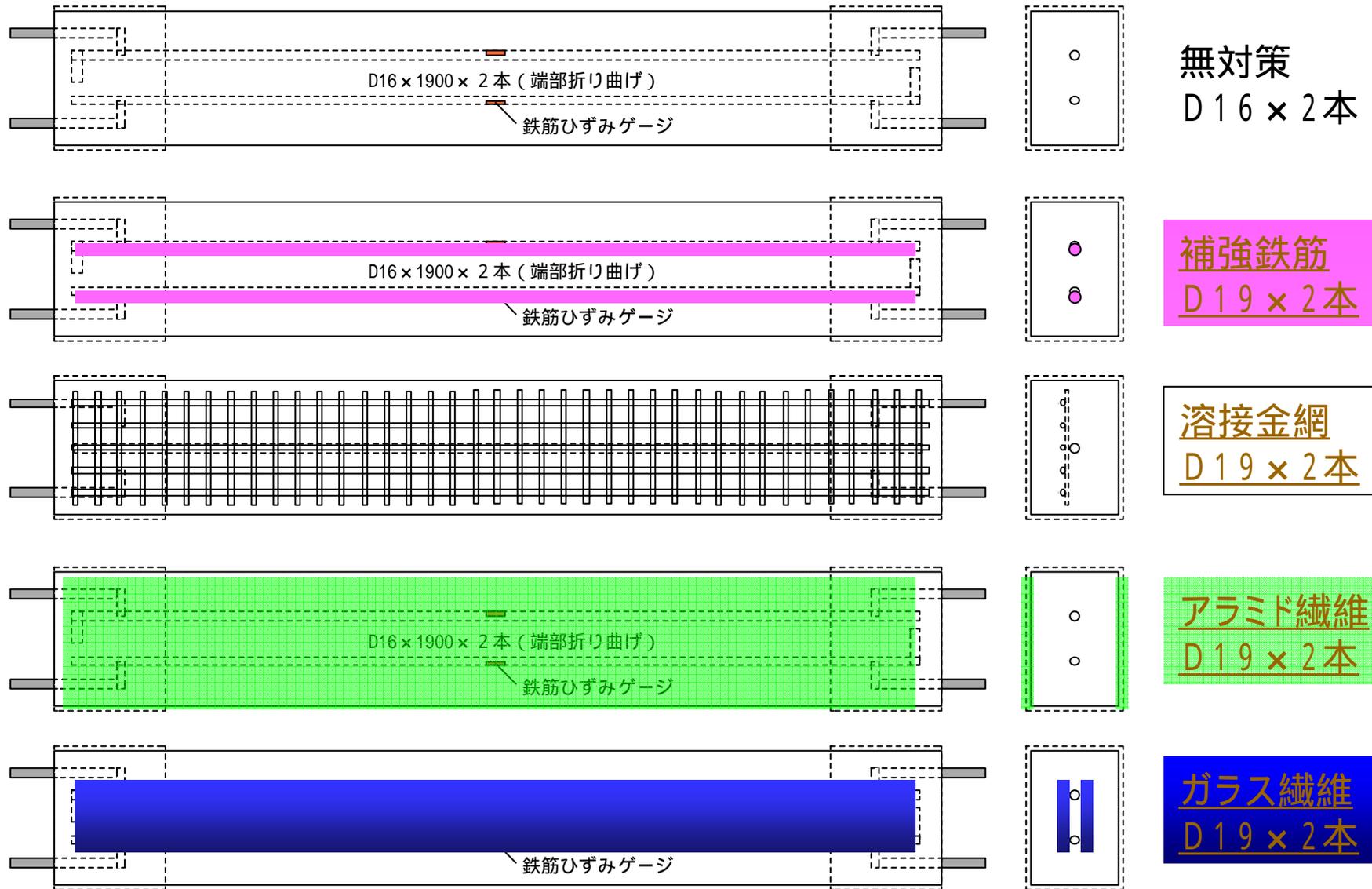


図2 各種補強を施した供試体

実験方法



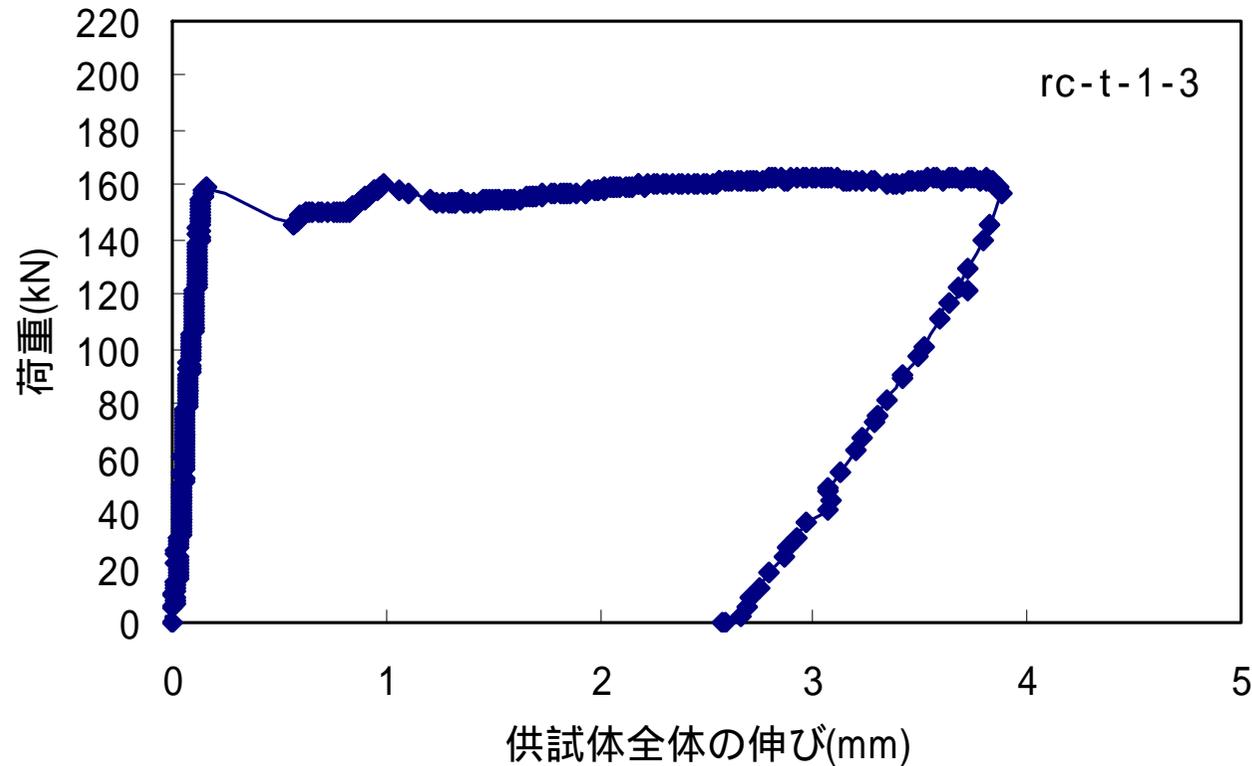
写真2 直接引張試験

実験結果 1

表 1 試験結果

供試体番号	補強タイプ	ひび割れ本数	最大荷重 (kN)
1-1	なし	2本	162.50
1-2	D16 (2本)	2本	160.54
1-3	p=0.66%	1本	162.46
2-1	補強鉄筋	6本	299.73
2-2	D22 (2本)	5本	296.91
2-3	p=0.96%	5本	302.97
3-1	溶接金網	6本	206.32
3-2	D16 (2本)	4本	210.56
3-3	p=0.94%	4本	210.00
4-1	アラミド繊維	3本	164.38
4-2	D16 (2本)	4本	169.76
4-3	p=0.66%	4本	166.38
5-1	ガラス繊維	4本	-
5-2	D16 (2本)	3本	165.70
5-3	p=0.66%	3本	166.88

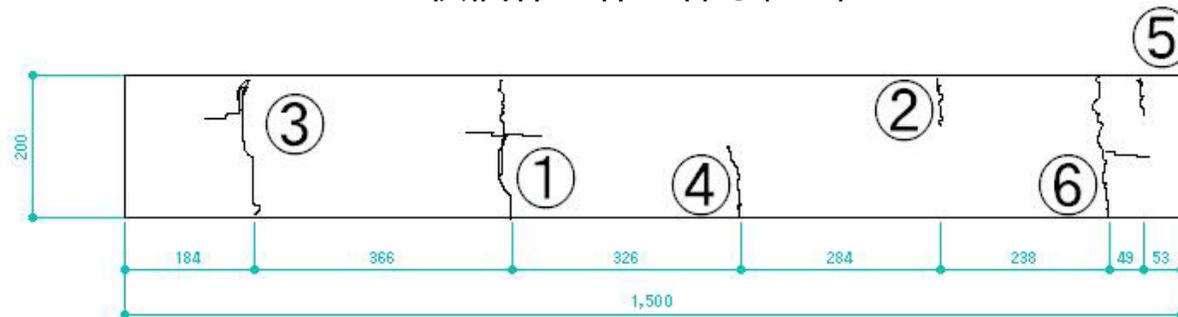
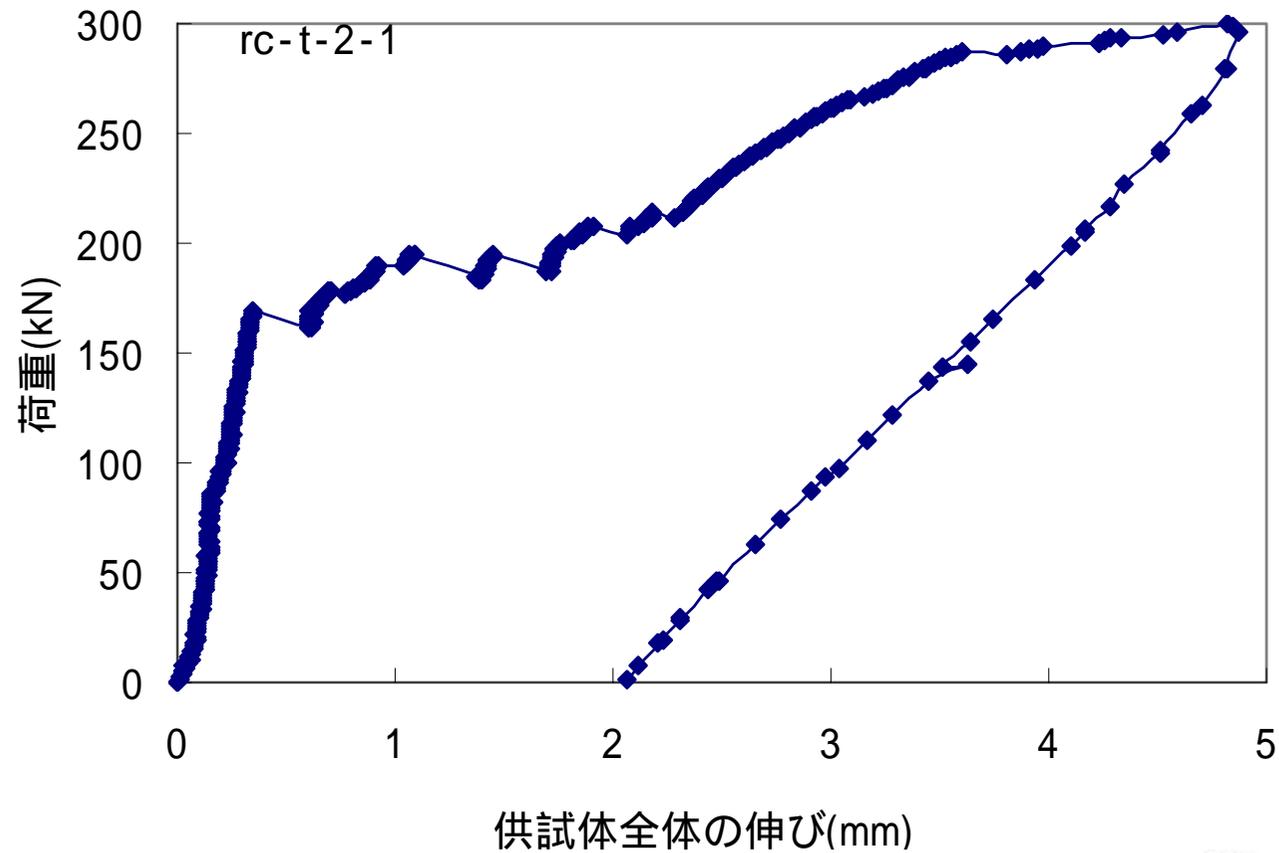
実験結果2 荷重変位関係(補強無し)



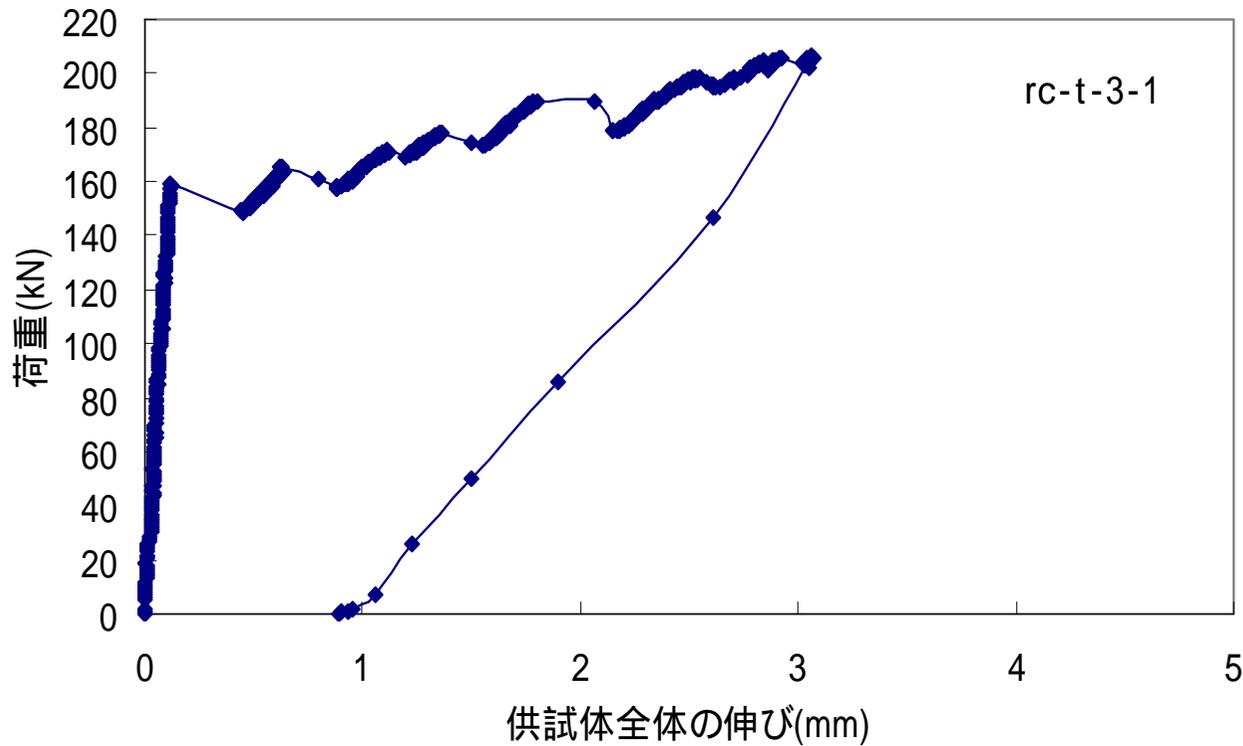
鉄筋比
 $p=0.66\%$



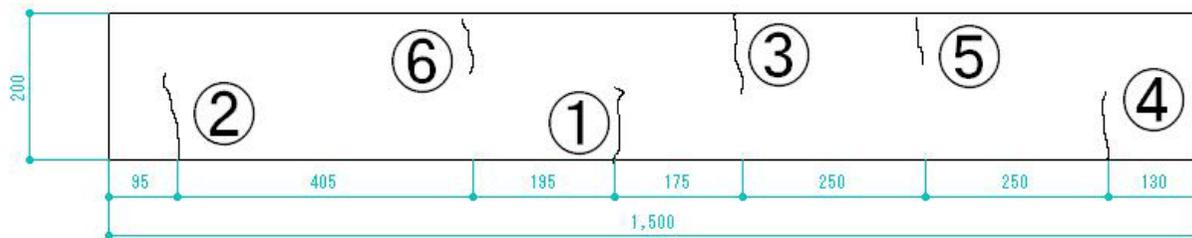
荷重変位関係 (補強鉄筋D19×2本)



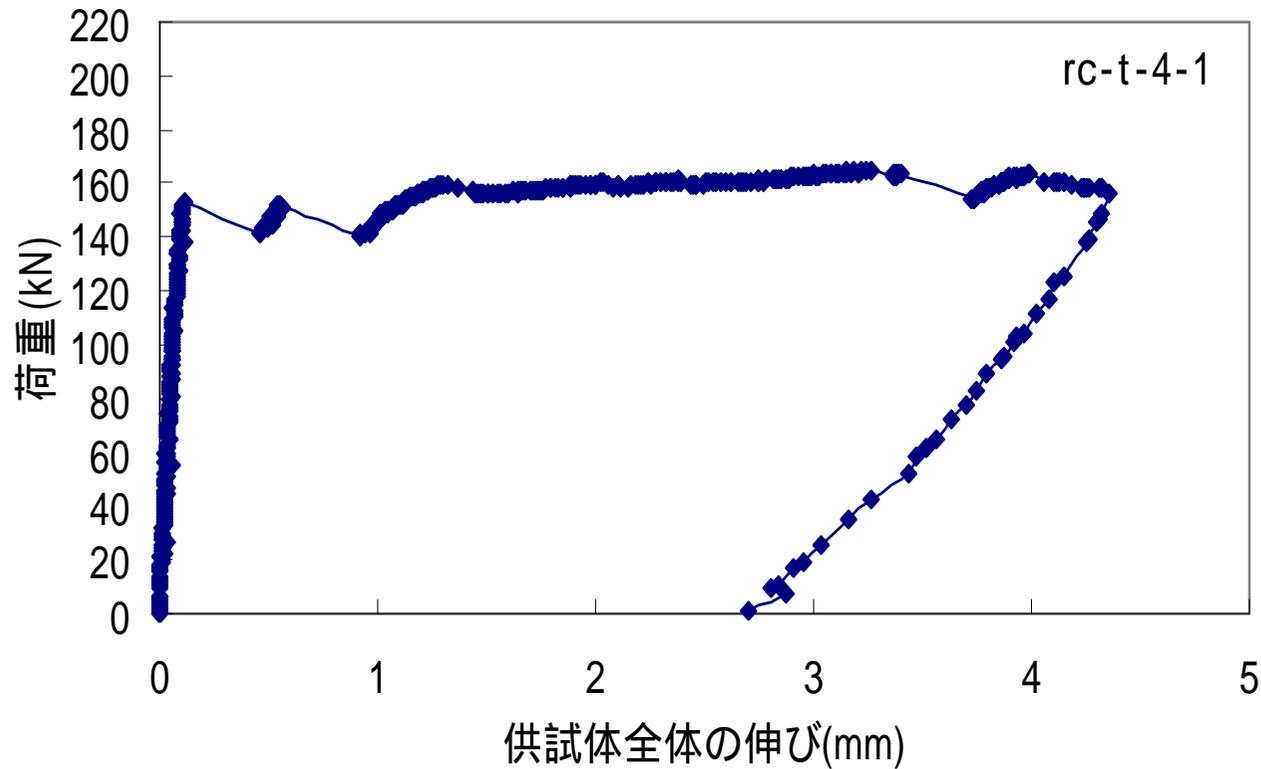
荷重変位関係 (溶接金網)



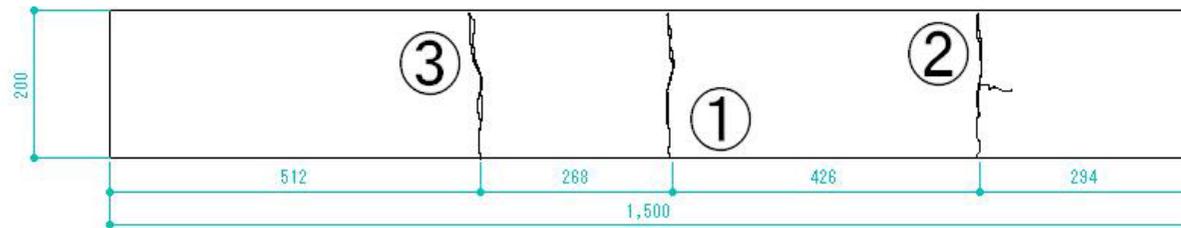
鉄筋比
 $p=0.94\%$



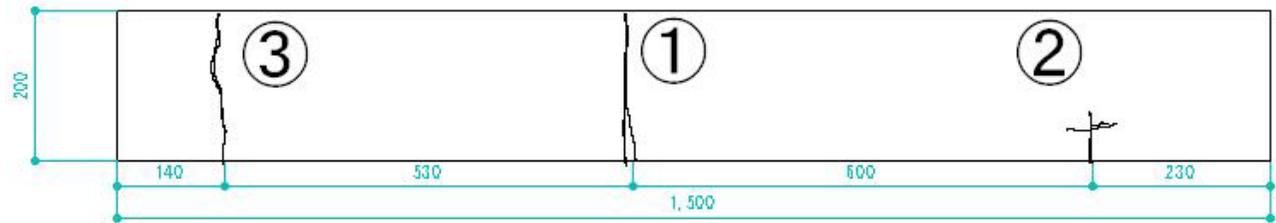
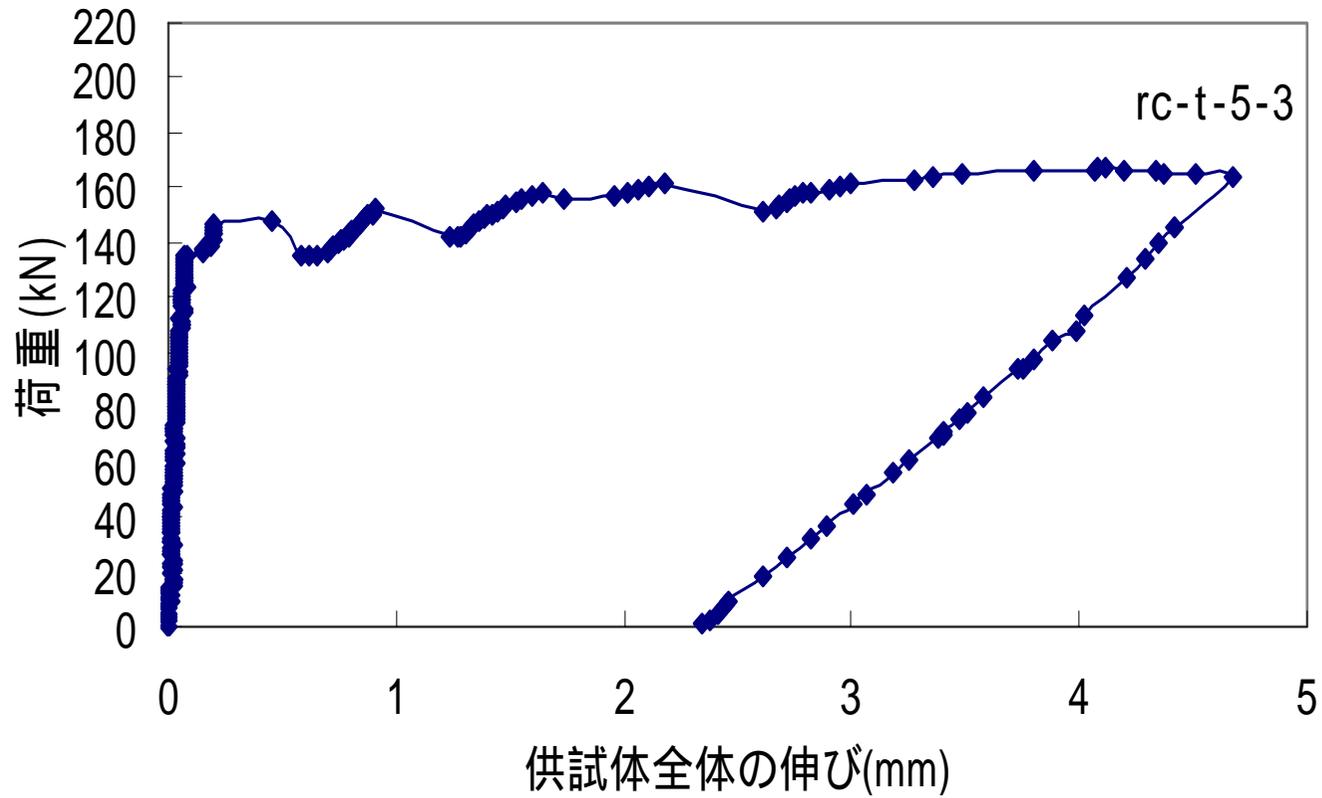
荷重変位関係 (アラミド繊維シート)



鉄筋比
 $p=0.66\%$



荷重変位関係 (ガラス繊維シート)



ひび割れ分散性能試験のまとめ

- 1) 今回行った実験ではいずれの補強工法にも分散性能は認められた
- 2) 各工法の効果の大きさには相違が見られたが、性能を比較するには、コストパフォーマンスや施工性を考慮する必要がある
- 3) 補強鉄筋や溶接金網のように軸方向鉄筋量が増加し、最大引張強度が上昇するに従い、ひび割れ分散性が高くなる

-
- 4) 一方、ガラス繊維シートやアラミド繊維は、最大引張強度に対する効果は小さいが、ひび割れ分散性は明らかに認められた。このことは、ひび割れ分散性が鉄筋量だけで決まるものではないことを示している
 - 5) 本実験は、材令4週を越えコンクリートの強度が十分に出た段階で実施した。若材齢時のコンクリートでは弾性係数やクリープの性状が異なるため今回の実験結果がそのまま実構造物のひび割れ分散性に一致するとは言えないが、むしろ、弱材令のコンクリートの方が顕著に分散性が現れることが予想される
-

2 章

進化する「コンクリート」

- 進化しているコンクリート
 - 変化しているコンクリート
-

2 - 1 . 進化(変化)する「コンクリート材料」

(1) セメント(粉体:混和材を含む)

(2) 骨材(粗骨材、細骨材)

(3) 混和剤

(4) 水

(5) 空気

* 繊維等の補強材

(1) セメント(粉体:混和材を含む)

…ペースト(糊)のもとになるもの

- 高炉セメント
- 普通ポルトランドセメント
- 中庸熱セメント
- フライアッシュセメント
- 低発熱性ポルトランドセメント
- 3成分(中庸熱高炉フライアッシュ)系超低熱セメント
- シリカフェームセメント
- 早強ポルトランドセメント

(2) 骨材(粗骨材、細骨材)・・・容積を稼ぐもの

粗骨材

- 砂岩系
- 石灰岩系
- 安山岩系
- 花崗岩系
- 高炉スラグ
- 再生骨材
- ...

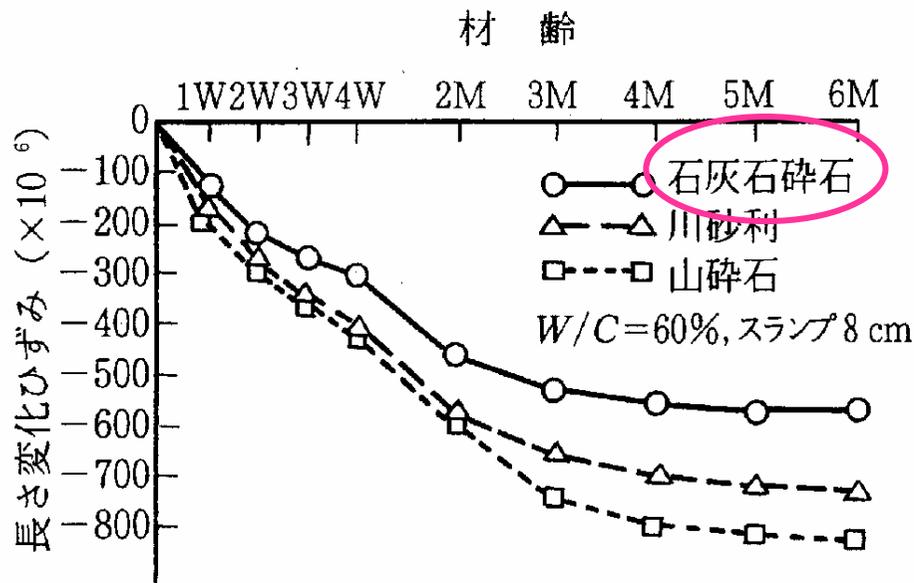
細骨材

- 系砂岩
- 石灰岩系
- 安山岩系
- 高炉スラグ
- 海砂
- 熔融スラグ
- ...

(2) 骨材(粗骨材、細骨材)・・・容積を稼ぐもの

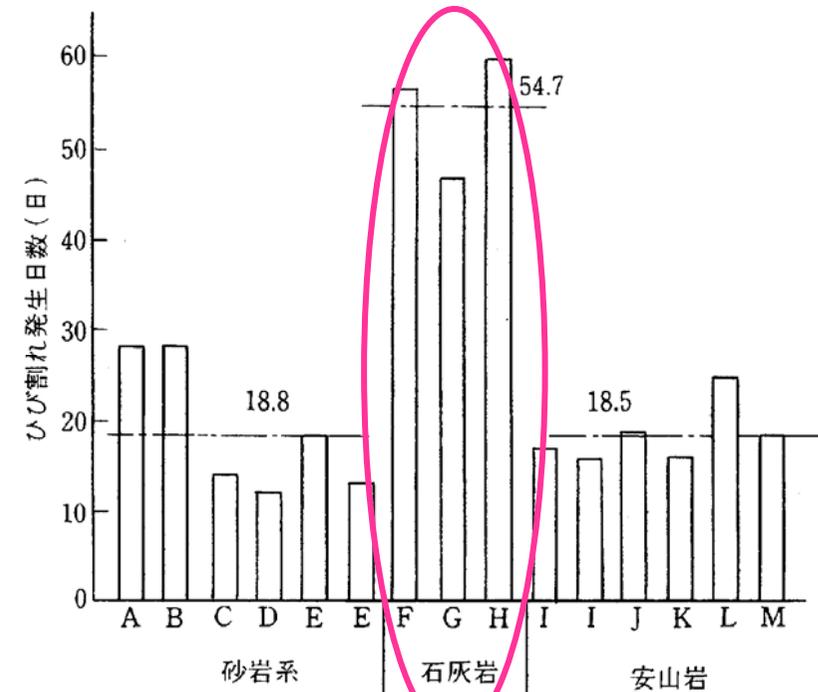
乾燥収縮

[大塩ら, 1987]



乾燥収縮によるひび割れ発生日数

[セメント協会: 耐久性専門委員会報告, 1988]



* 石灰岩の熱膨張率は他の $5/8 \sim 5/7$

* 石灰岩系は収縮が小さく, ひび割れ抑制に効果的

* 但し, 石灰岩は, すり減り抵抗性が小さい

(3) 混和剤

…コンクリートの性質を変えるもの(薬)

- AE剤、減水剤、AE減水剤、高性能AE減水剤
- 流動化剤
- 急結剤
- 膨張剤
- 乾燥収縮低減剤
- 遅延剤
- 防水剤
- 水和熱抑制剤
- 中性化防止剤
- アルカリ骨材反応抑制剤
- エフロレッセンス防止剤
- 発泡剤
- 気泡剤
- 防凍剤
- 表面硬化剤

2 - 2 . 進化 (変化) する

「コンクリート製造技術」

- 高強度コンクリート
 - 高流動コンクリート
 - 水中不分離コンクリート
 - エココンクリート

 - 水分量管理技術
 - 色の管理
-

2 - 2 . 進化 (変化) する

「コンクリート施工技術」

- バッチャープラント
 - アジテータトラック
 - ポンプ
 - 型枠
 - バイブレータ・仕上げ技術
 - 養生技術
-

2 - 3 . 変化する「コンクリートに対する意識」

- メンテナンスフリー神話
ひび割れはつきもの(入って当然)
 - スクラップ&ビルト

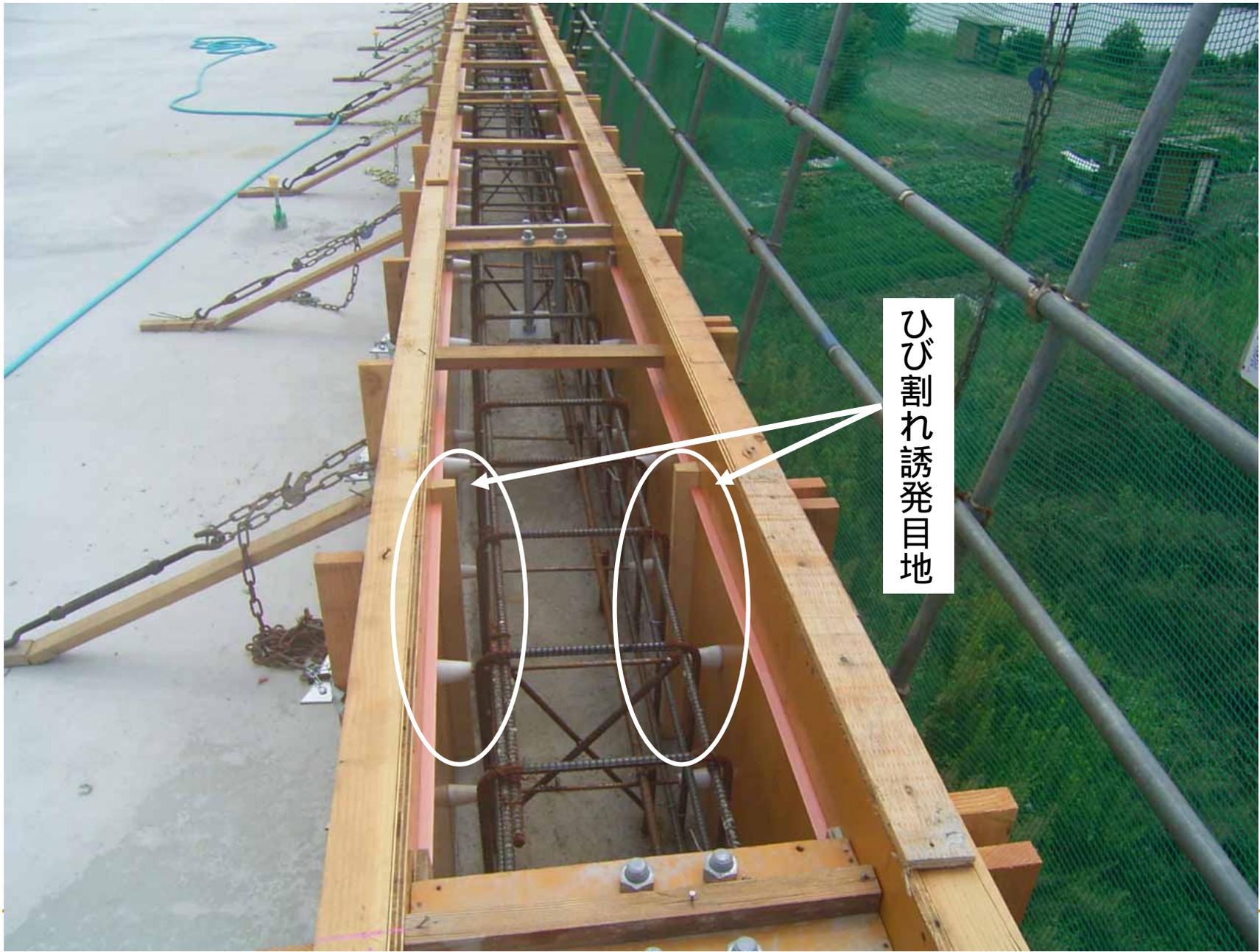
 - 神話の崩壊(トンネル、マンション、新幹線)
崩壊の始まりは小さなひび割れから

 - 耐久性を確保するために何をすべきか
ひび割れは制御できる！ 神話の復活
-

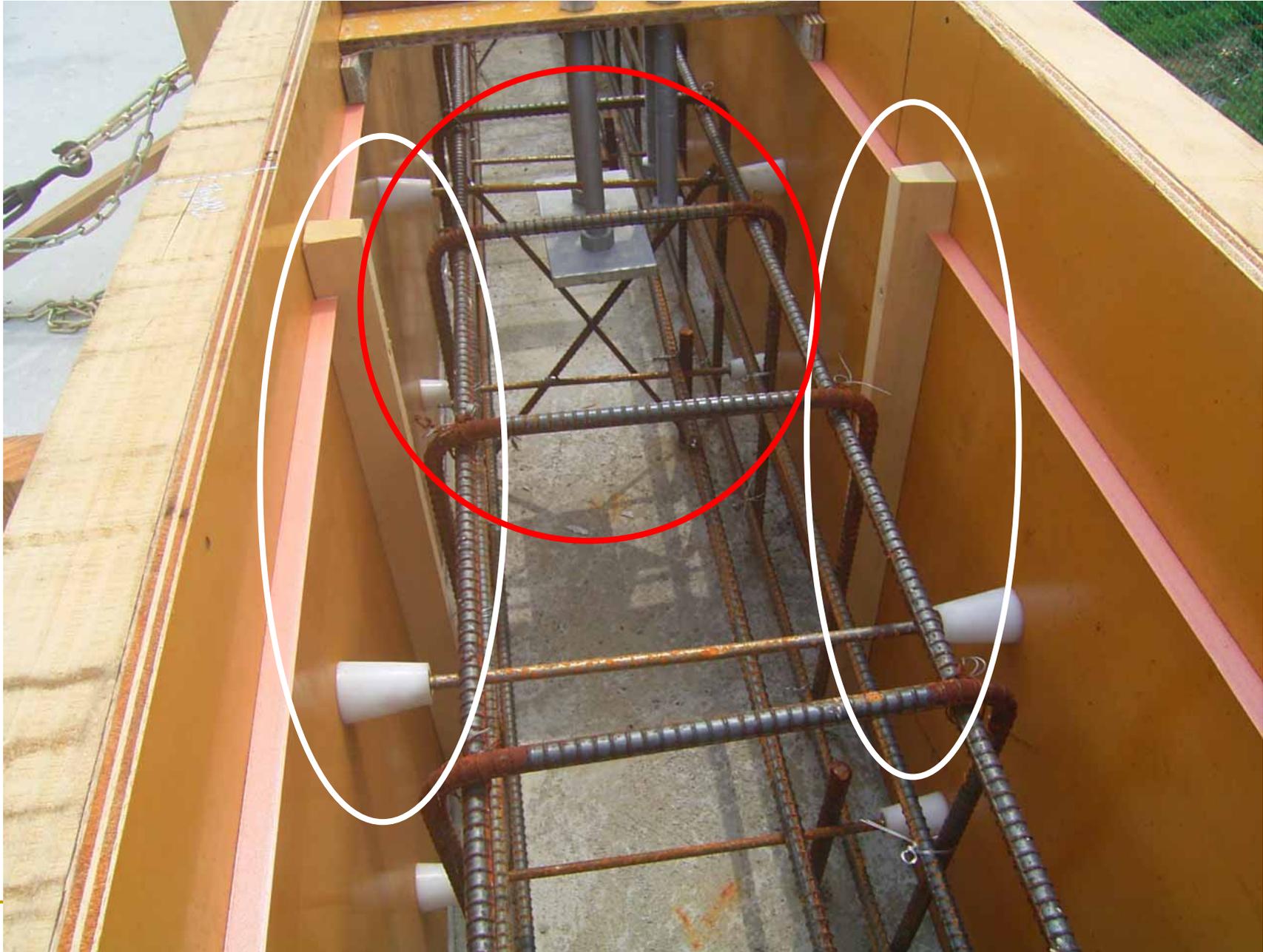
事例 その1 地覆のひび割れ

事例1 地覆のひび割れ





ひび割れ誘発目地







事例1 地覆のひび割れ



写真1 地覆に発生したひび割れ(例)

地覆に発生したひび割れの原因を考える

- 8月末のコンクリート打設
コンクリート温度高い 段々気温が下がって行く
- 川の上に架かる橋梁部材
日中と夜間の温度差大
- 誘発目地の断面欠損率
鉄筋のかぶりを考えると20%以上取ることが困難
長い部材になる
- 型枠の安定を保つために補強鉄筋を入れる
断面欠損を与える(誘発目地になってしまう)

-
- 床版に膨張コンクリートを使用(地覆は普通コン)
床版と収縮性能が異なる
 - 床版打設後、かなり日数が経過して打設すると
床版と収縮性能が異なる
 - 普通コンクリートと高炉B種では、
水和熱による温度上昇量は、 若干 $N < BB$
乾燥(自己)収縮は、 若干 $N < BB$
初期強度は、 若干 $N > BB$
-

3 章

収縮ひび割れ発生 メカニズム

- 3 - 1 . ひずみの話
 - 3 - 2 . ひび割れと非弾性ひずみの関係
 - 3 - 3 . どんな部材が、ひび割れるのか
-

3 - 1 . ひずみの話

ひずみ = L / L (=伸びた(縮んだ) / 元の長さ)

外力による「ひずみ」もあるが、
温度変化、乾燥による「ひずみ」を「非弾性ひずみ」

非弾性ひずみの大きさは、材料によって異なる
進化(変化)するコンクリート材料

3 - 2 . ひび割れと非弾性ひずみの関係

- 温度と体積変化

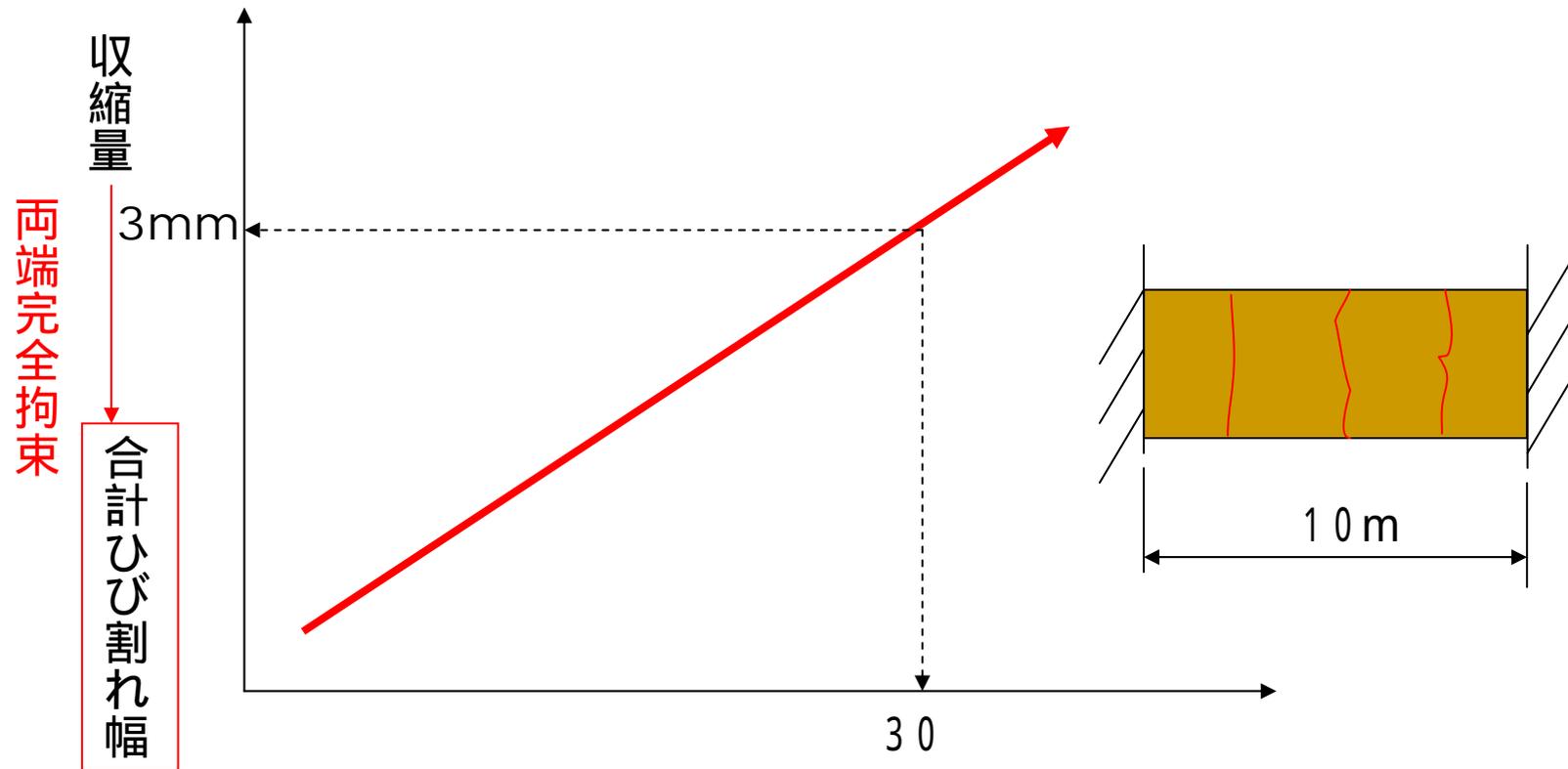
温度上昇により内部空隙の拡張、温度下降により内部空隙の収縮

- 乾燥と体積変化

乾燥により内部の細孔構造に毛細管現象が発生し、これにより内部に収縮応力が発生



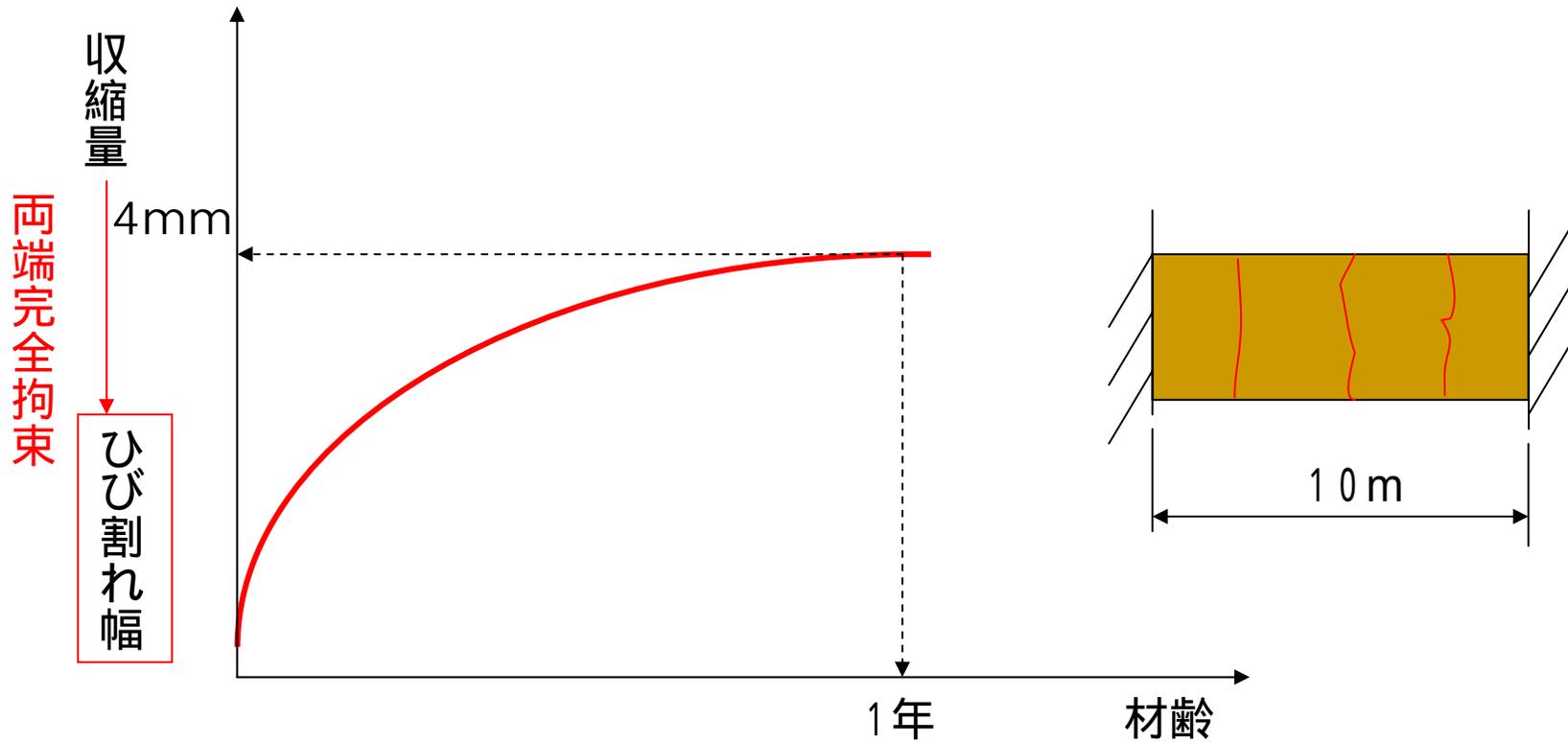
温度変化(低下)と収縮量(ひび割れ幅)



コンクリート部材の温度変化(低下)

温度変化と収縮量の関係

乾燥(表面・内部)と収縮量



乾燥(表面・内部)

乾燥と収縮量の関係

3 - 3 . どんな部材が、ひび割れるのか

収縮ひび割れ発生条件

- 条件1 収縮する材料「コンクリート」を使っている
 - 条件2 収縮する状況を作っている (温度・乾燥)
 - 条件3 収縮を拘束する何かがある (外部、内部)
 - 条件4 収縮応力 > 引張強度になる箇所がある
-

コンクリートの乾燥収縮の性質は

- セメントにより異なる
 - 骨材により異なる
 - 水セメント比によって
 - 温度(気温、練り上がり、養生)によって異なる
-

収縮を拘束する「何か」とは

■ 外部拘束

- ・ 岩盤
- ・ 先行リフトのコンクリート(間があくほど拘束性が高くなる)

■ 内部拘束

- ・ 鉄筋
 - ・ マスコンクリートの内部と外部の温度差
-

収縮応力 > 引張強度になる箇所とは

- コンクリートの引張強度も収縮も硬化に伴い進み、引張強度 > 収縮応力の間はひび割れないが、この関係が逆転したところでひび割れが入る。
- コンクリートの断面の内容が一様であれば、ひび割れは、部材を規則的に分割するように発生する（このときの間隔及びひび割れ幅は、主に鉄筋量で決まるが、ガラス連続繊維等によっても変化する）
- 断面欠損があれば、当然その位置で応力が高い

-
- コンクリートの断面の内容が一様であれば、ひび割れは、部材を規則的に分割するように発生する
 - このときの間隔及びひび割れ幅は、主に鉄筋量で決まるが、ガラス連続繊維等によっても変化する
-

事例 その2 砂防ダムのひび割れ

事例2 砂防ダムひび割れ

無筋コンクリートの砂防ダムは、コンクリートの問題だけを考えることが出来る絶好の供試体



砂防ダムに発生したひび割れ



長さ 14m
幅 9m
厚さ 0.75m

ひび割れが出たり、出なかったり??



理由は？

- 上のリフトでは、コンクリートの断面が下の断面より幅が小さくなるため、発熱量が僅かだが少ない
 - 上のリフトでは、下のリフトのひび割れ対策のために鉄筋が入っている
(鉄筋量 $p=0.024\%$) ……少ないはずだが？
-

砂防ダムに発生したひび割れ



下のリフトに発生したひび割れが上のリフトに進展することを防ぐ対策

長さ 14m
幅 9m
厚さ 0.75m

4 章

ひび割れ対策

4 - 1 . ひび割れ抑制対策とは、

レベル1 ひび割れを発生させない

レベル2 ひび割れは許容する (補修しなくて良い)

レベル3 ひび割れを許容する (容易に補修)

レベル4 ひび割れは無視して良い

ひび割れを

防ぐ「材料」・・・セメント、骨材、混和剤、練り水

防ぐ「工夫」・・・設計

温度管理・・・施工時期、材料、生コン、環境

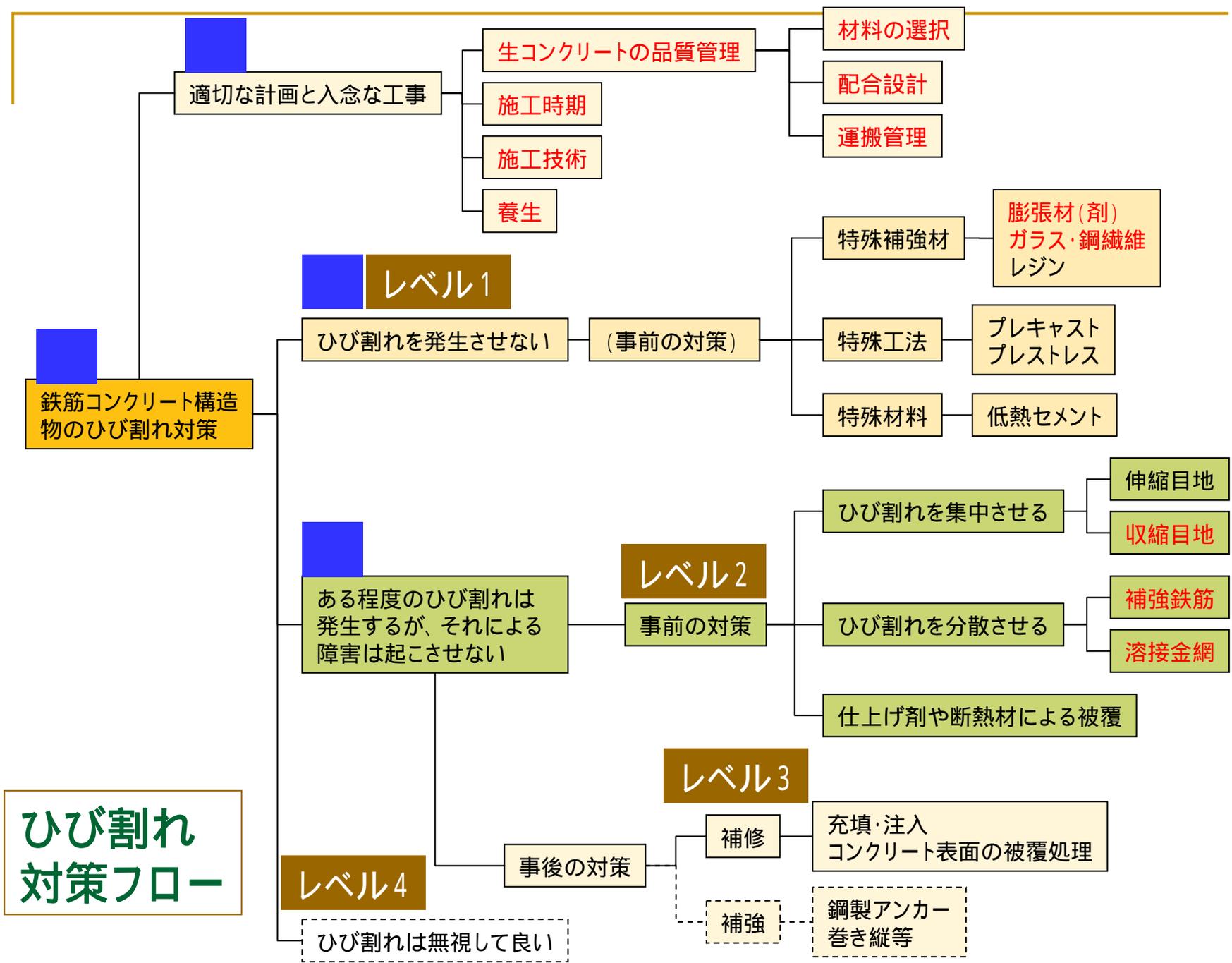
配筋・・・鉄筋量、鉄筋位置

分散させる「材料」・・・補強鉄筋、溶接金網

誘発させる「目地」・・・ひび割れ誘発目地間隔

補修する「材料」・・・エポキシ樹脂他

ひび割れ 対策フロー





適切な計画と入念な工事

生コンクリートの品質管理

施工時期

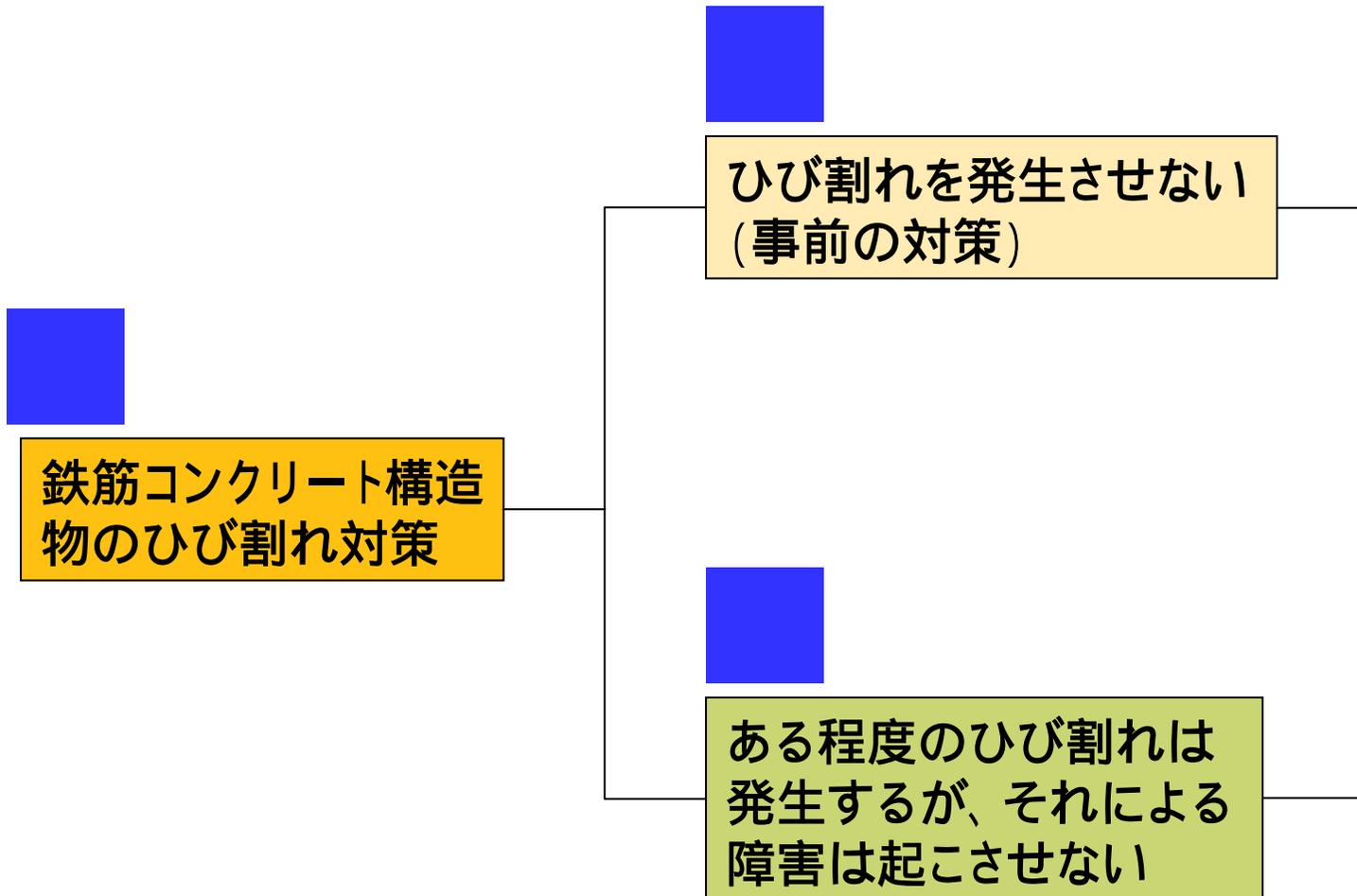
施工技術

養生

材料の選択

配合設計

運搬管理





レベル1

ひび割れを発生させない

事前の対策

特殊補強材

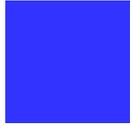
膨張材(剤)
ガラス・鋼繊維
レジン

特殊工法

プレキャスト
プレストレス

特殊材料

低熱セメント



ある程度のひび割れは発生するが、それによる障害は起こさせない

レベル2

事前の対策

ひび割れを集中させる

伸縮目地

収縮目地

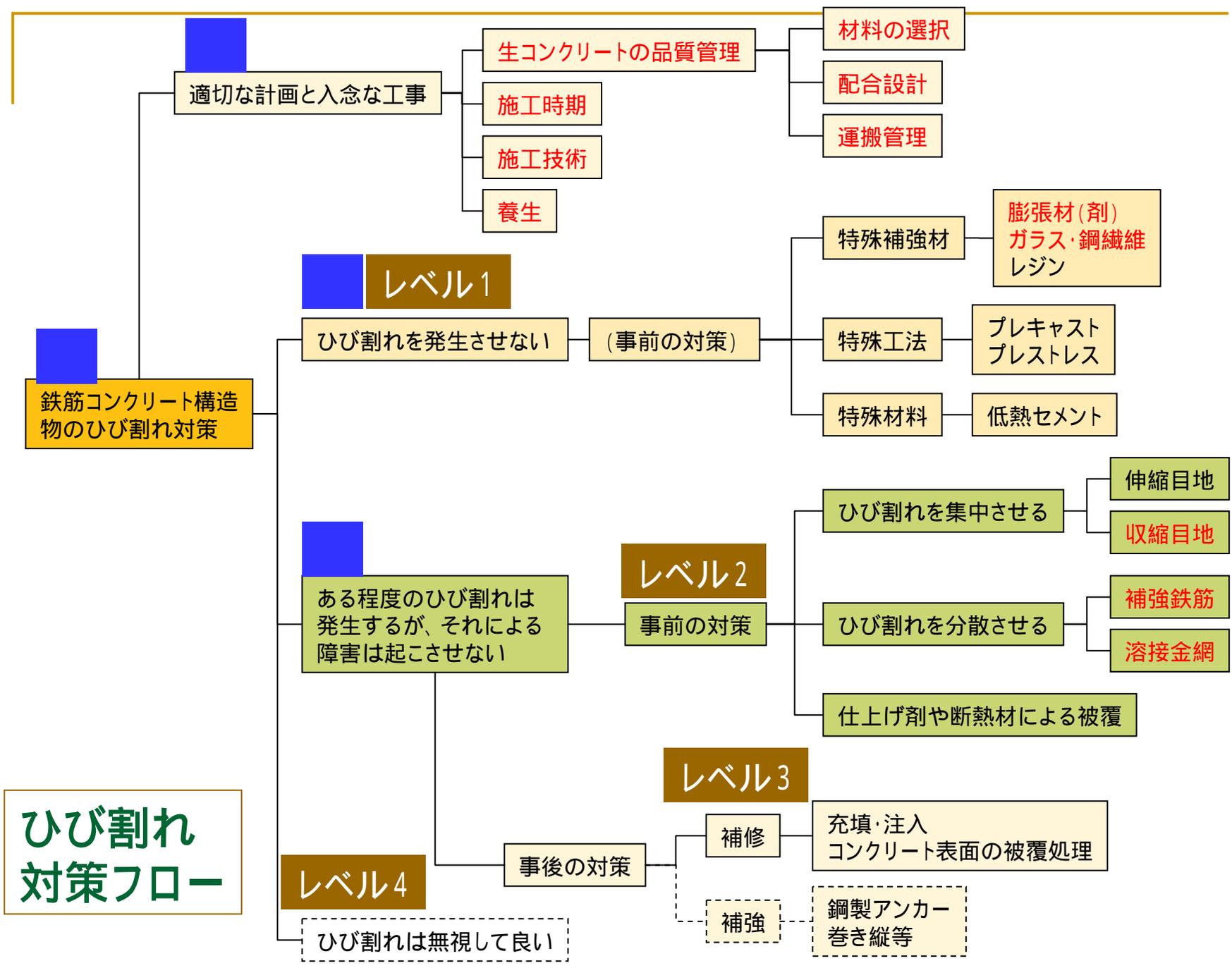
ひび割れを分散させる

補強鉄筋

溶接金網

レベル3

ひび割れ 対策フロー



4 - 2 . ひび割れ抑制対策とそのメカニズム

- 低熱セメント
 - 補強鉄筋、溶接金網
 - PP短繊維
 - ガラス繊維シート
 - 誘発目地
-

「低熱セメント」は、 確かにひび割れ抑制効果が高い

- 温度対策もGood
- 乾燥収縮もGood

でも、*そんなの関係ない！*

- 経済性に問題
- そして、グリーン調達が使命

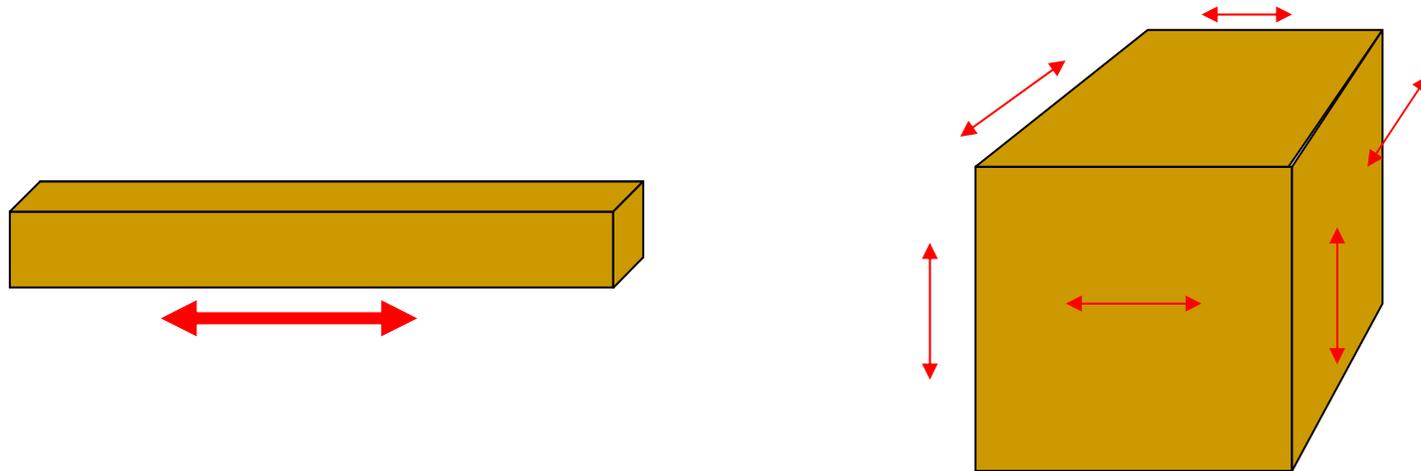
高炉Bでなんとかなる！？

なんとかしたい！！

「補強材(補強鉄筋、ガラス繊維)」は、

- マッシブな部材には効くが、
- 細長い部材、薄い平面部材には？

マッシブな部材は、引張応力が平均化するが、薄い平面部材や細長い部材は(断面方向にも)鉄筋が多いために引張応力が局所化しやすい。



コンクリートの中の鉄筋

- 線膨張係数はコンクリートと同じではない
 - 乾燥収縮はしない
 - 鉄筋量が多いと
 - …コンクリートを拘束する
 - ひび割れを分散する
 - 鉄筋の入れ方によっては
 - …コンクリートの断面欠損をさせている
 - ひび割れを誘発する
-

PP短繊維 & 膨張材

- 棒部材や平面部材には効果的！
- マッシブな部材では？

棒部材や平面部材では、ひずみの方向性も1軸あるいは2軸方向のみである。

(クラック スターのひび割れ抑制性能「94%のひび割れ抑制！」も平面部材で確認されたもの)

膨張材のマッシブな部材への適用は、分散性、膨張の方向性に疑問

「誘発目地」は、

- 断面欠損率は必ず20%以上
 - 断面内のコンクリートの面積が変化するところ（鉄筋やセパレータ、箱抜き等々）がある場合は、誘発目地では、その場所のコンクリート断面積より20%以上の断面欠損をさせる
 - 誘発目地間隔は、・・・構造部材毎に置かれた条件が異なるため、その都度検討が必要
-

4 - 3 . 構造物とひび割れ対策の選択(私見)

目標: レベル2「補修を要しないひび割れは許容」

ボックスカルバート

- 頂版 膨張剤 PP短繊維
- 側壁 誘発目地 膨張剤 PP短繊維 ガラス繊維
- 底版 補強鉄筋($\rho = 0.4\%$ 以上) 溶接金網

橋梁部材

下部構造物

- たて壁 補強鉄筋($\rho = 0.4\%$ 以上) 溶接金網 ガラス繊維
- 胸壁 膨張剤 PP短繊維 補強鉄筋
- 底版 補強鉄筋($\rho = 0.4\%$ 以上) 溶接金網

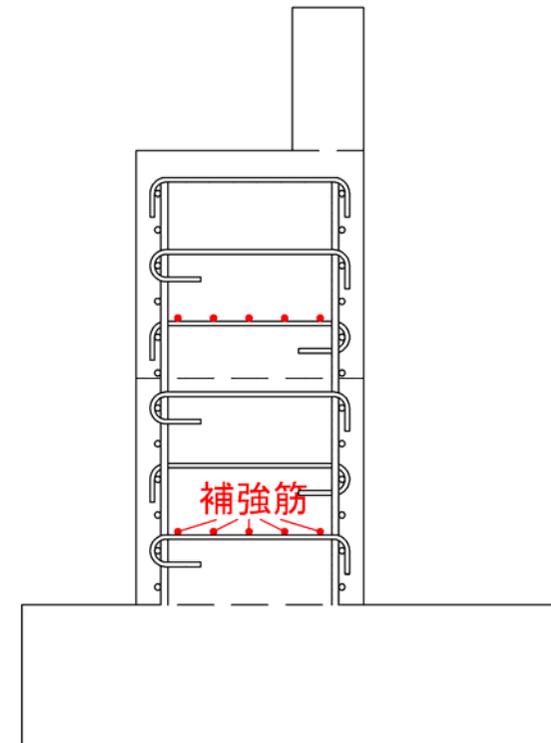
上部構造物

- 床版 膨張剤 PP短繊維
- 地覆 誘発目地 膨張剤 PP短繊維 ガラス繊維

(壁式構造物 誘発目地 膨張剤 PP短繊維 ガラス繊維)

ひび割れ試験施工の風景

- ボックスカルバート
- 橋台・壁式橋脚
- ボックスカルバートの養生



頂版のひび割れ調査



ガラス繊維シートで20mの橋台に挑戦！



補強鉄筋によりひび割れ分散に成功！？



約20m幅の橋台に
0.05mm程度のひ
び割れが10本発生

アーチ橋の橋台に、





アラミド繊維シートを
使ってみたが...

膨張剤もマスコンクリートではイマイチ??



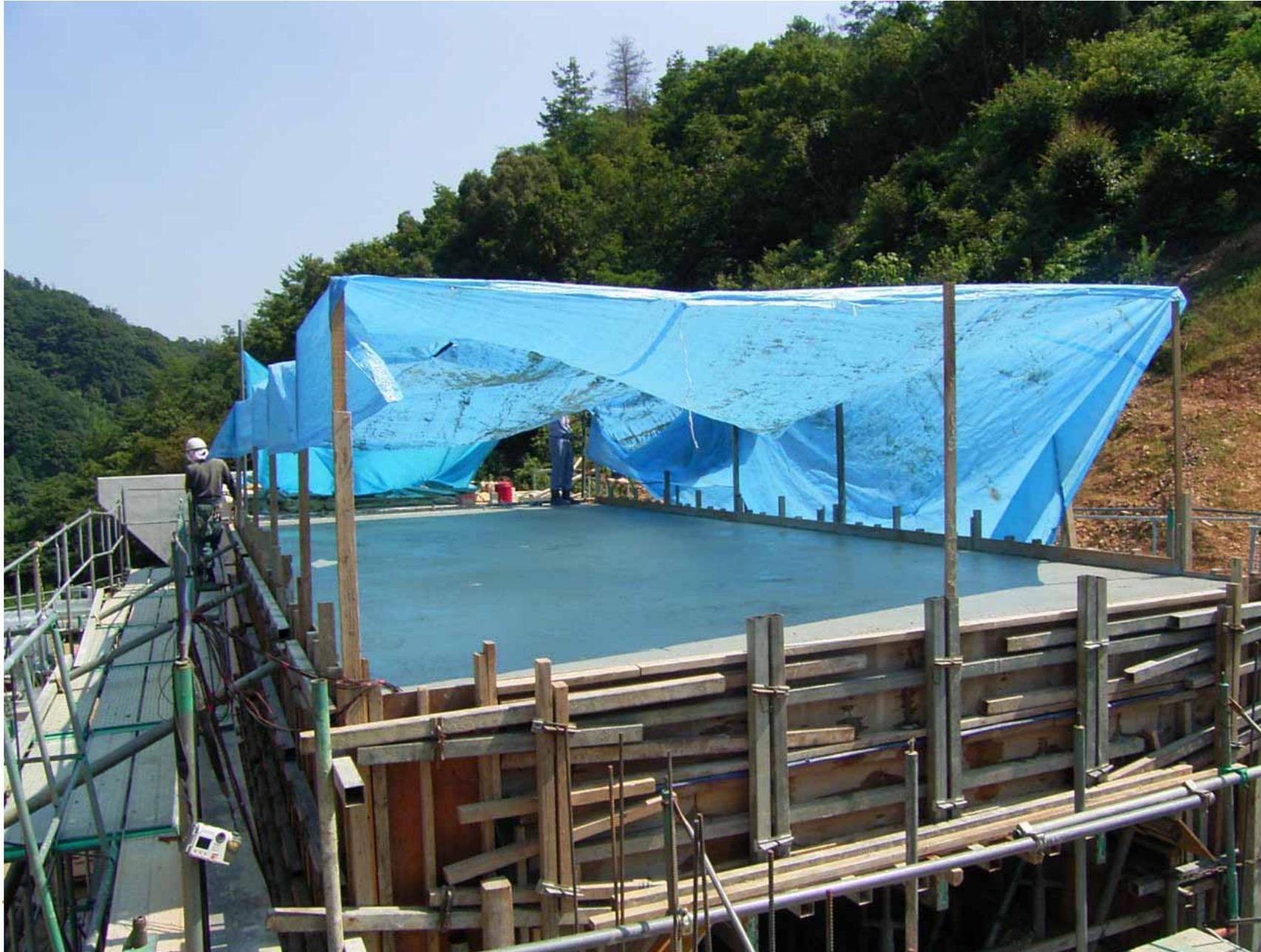














事例 その3 橋台のひび割れ

事例3 橋台のひび割れ

これだけやっても……まだ入る

4分割に誘発目地を入れ、PP短繊維を使用

3箇所にはひび割れ誘発目地

0.2mm程度の
ひび割れが2本発生

幅14m
 $p=0.06\%$



6分割に誘発目地を入れた場合は
ひび割れ無しだった！

5箇所にひび割れ誘発目地

幅 1.4 m



おわりに

- 3年前に比べて、山口県のコンクリート構造物に入るひび割れの発生率は、きっと少なく…
- 全国でも一歩前を行っている技術力
- 今後も「連携」を図って、良質のコンクリート構造物を作りましょう

ご静聴ありがとうございました。
