



コンクリート構造物の ひび割れ講座

コンクリート工学研究室
岩城一郎

N. ひび割れはなぜ発生するか？

物理的現象



人為的現象

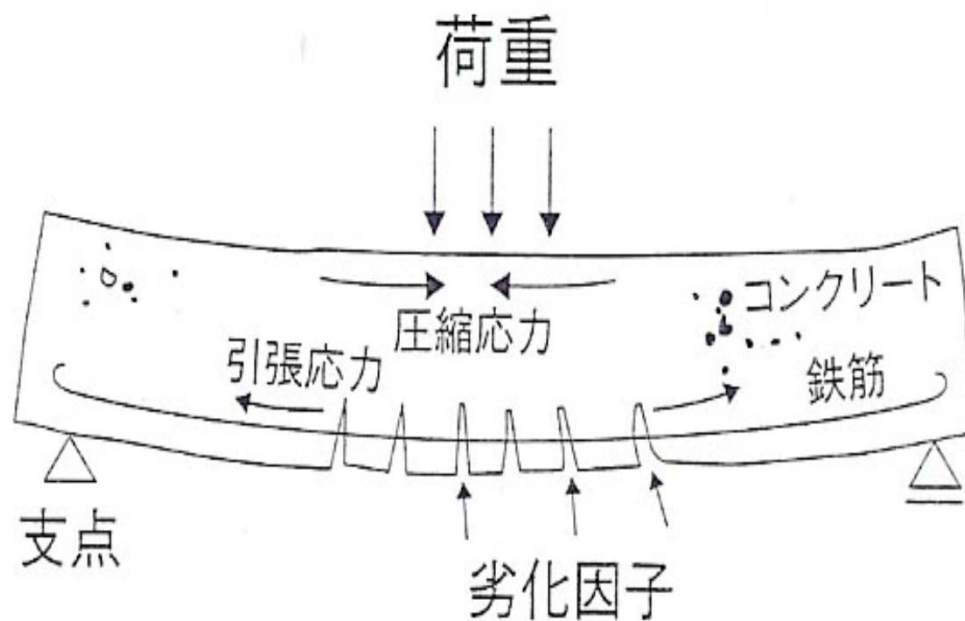
- 設計・施工上のミス
- 手抜き・偽装！！



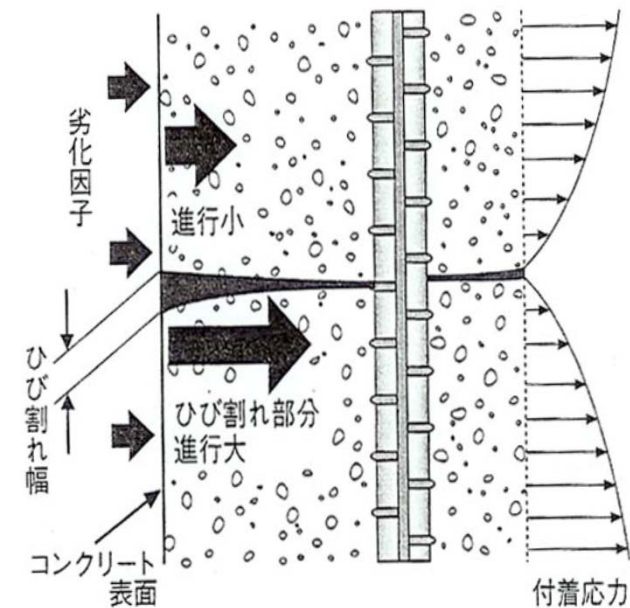
- 技術力不足
- 技術者としての気の緩み，責任感の欠如

N. ひび割れの何が問題か？

- 美観の低下：建物の資産価値(ある長大橋の例)
- 機能性(水密性)の低下：漏水
- **耐久性の低下：劣化因子の侵入**



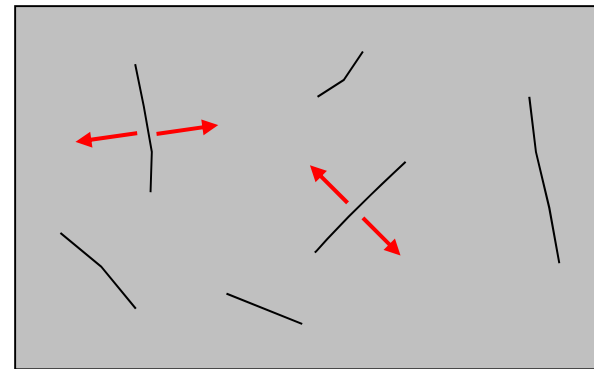
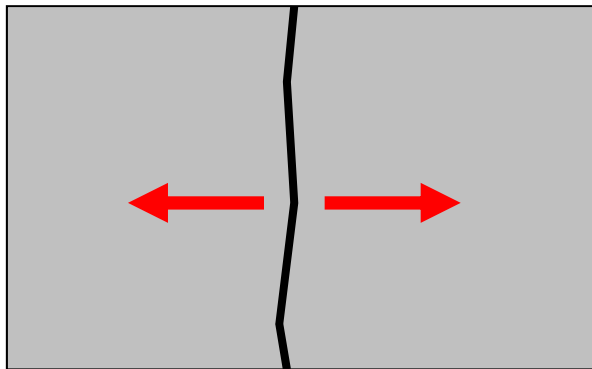
コンクリートのひび割れがわかる本,
セメントジャーナル社



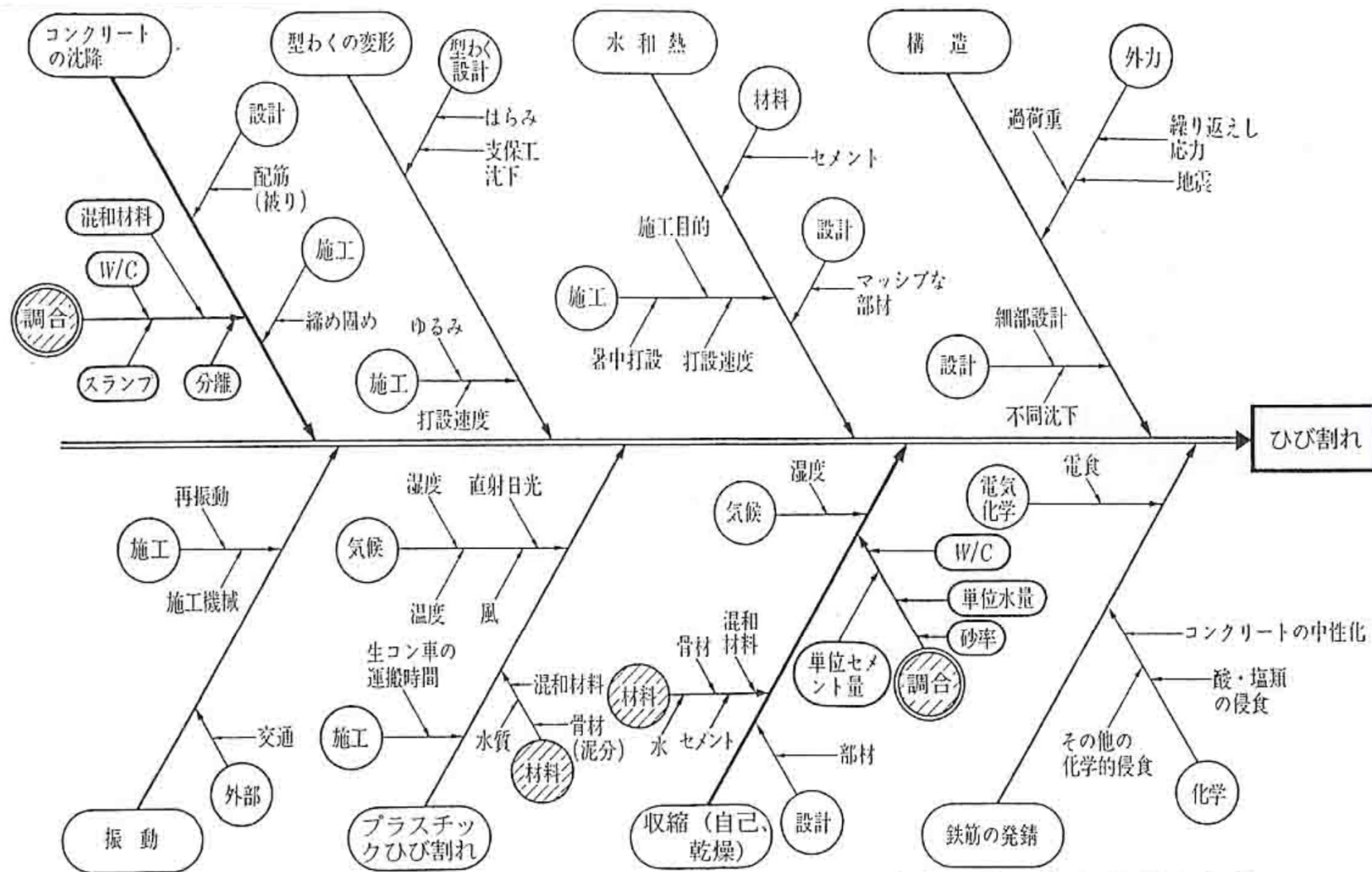
コンクリートの劣化と補修がわかる本,
セメントジャーナル社

N. ひび割れの原理

- コンクリートは圧縮に強く，引張に弱い材料である。→鋼材により引張側を補強
- コンクリートに何らかの作用により，巨視的・微視的に引張が生じると，これと垂直にひび割れが発生（マクロクラック，マイクロクラック）

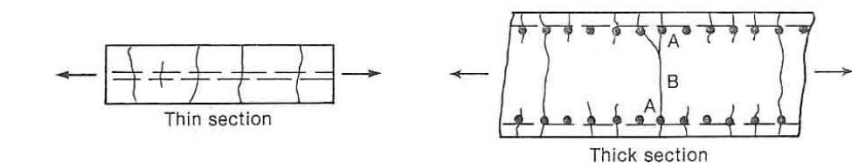


N. ひび割れの発生要因

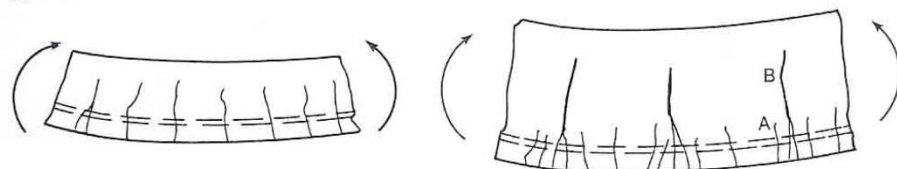


鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ, 日本建築学会より引用

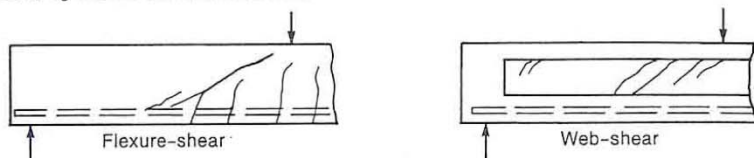
N. ひび割れの種類



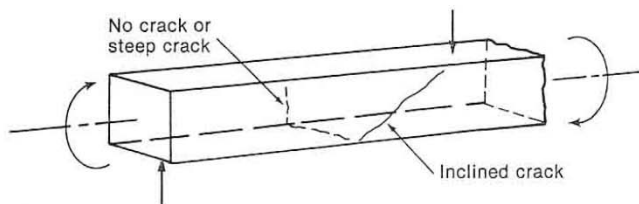
(a) Direct tension.



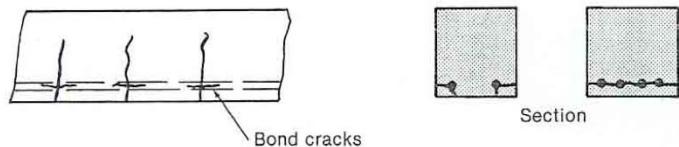
(b) Bending with or without axial load.



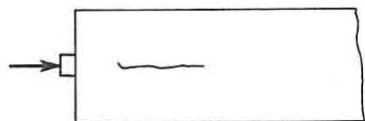
(c) Shear.



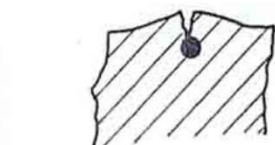
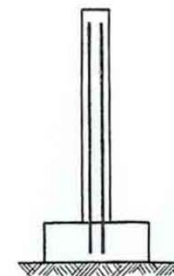
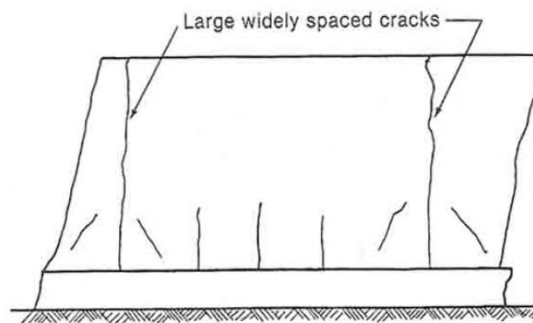
(d) Torsion and shear.



(e) Bond cracks.



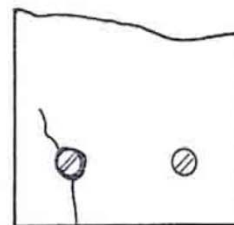
(f) Concentrated load.



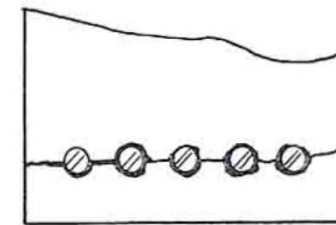
(a) Plastic slumping crack.



(b) Map cracking.

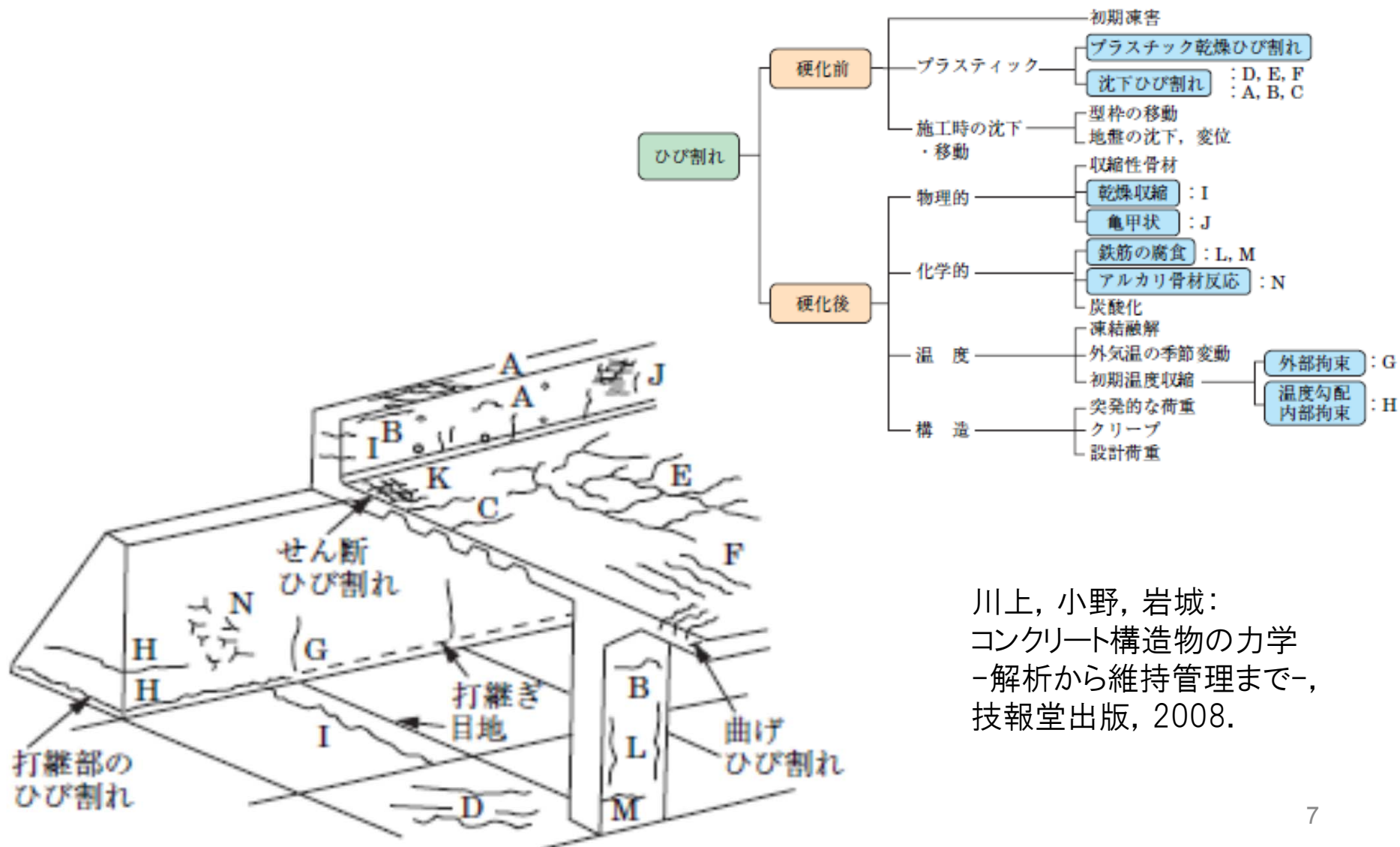


(c) Effect of corrosion.



REINFORCED CONCRETE
by MacGregor, Prentice Hall

N. ひび割れの種類と発生部位



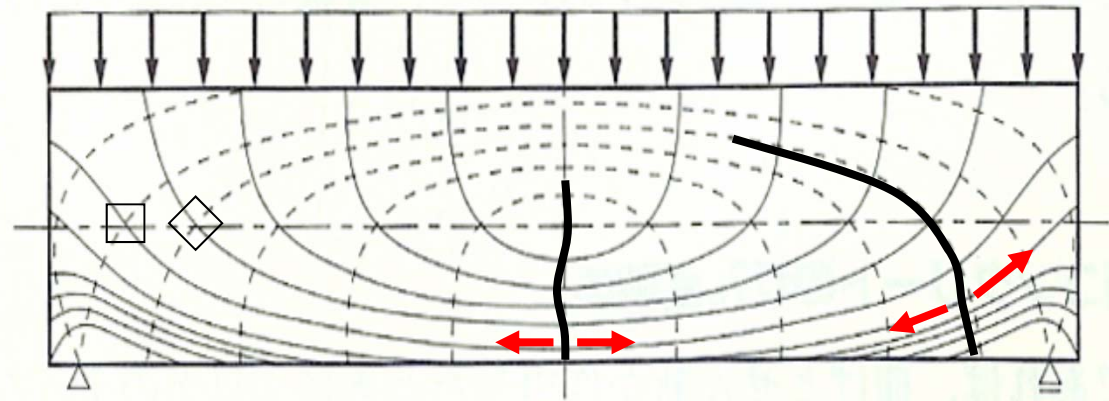
川上, 小野, 岩城:
 コンクリート構造物の力学
 -解析から維持管理まで-,
 技報堂出版, 2008.

N. ひび割れの分類

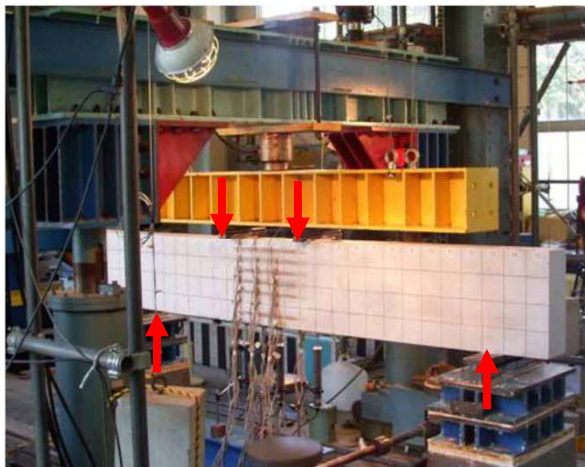
- **外力**により生じるひび割れ（曲げひび割れ，せん断ひび割れ）
- **変形の拘束**により生じるひび割れ（収縮ひび割れ，温度ひび割れ）
- **コンクリート内部の膨張圧**により生じるひび割れ（塩害，アルカリシリカ反応，凍害）
- その他（プラスチック収縮ひび割れ，沈下ひび割れ等）

N. 外力によるひび割れ

- 主引張応力線と垂直に（主圧縮応力線に沿って）ひび割れ発生
- 曲げひび割れ
- せん断ひび割れ（斜めひび割れ）



主応力線図(実線:主引張応力線, 点線:主圧縮応力線)



N. 変形の拘束により生じるひび割れ

- コンクリートの収縮変形が拘束されると、コンクリートに引張応力が作用し、これが引張強度を上回るとひび割れが発生
- 施工段階におけるひび割れ
 - 収縮ひび割れ
→ 薄い部材, 建築構造物, 冬期
 - 温度ひび割れ
→ マスコンクリート, 土木構造物, 夏期

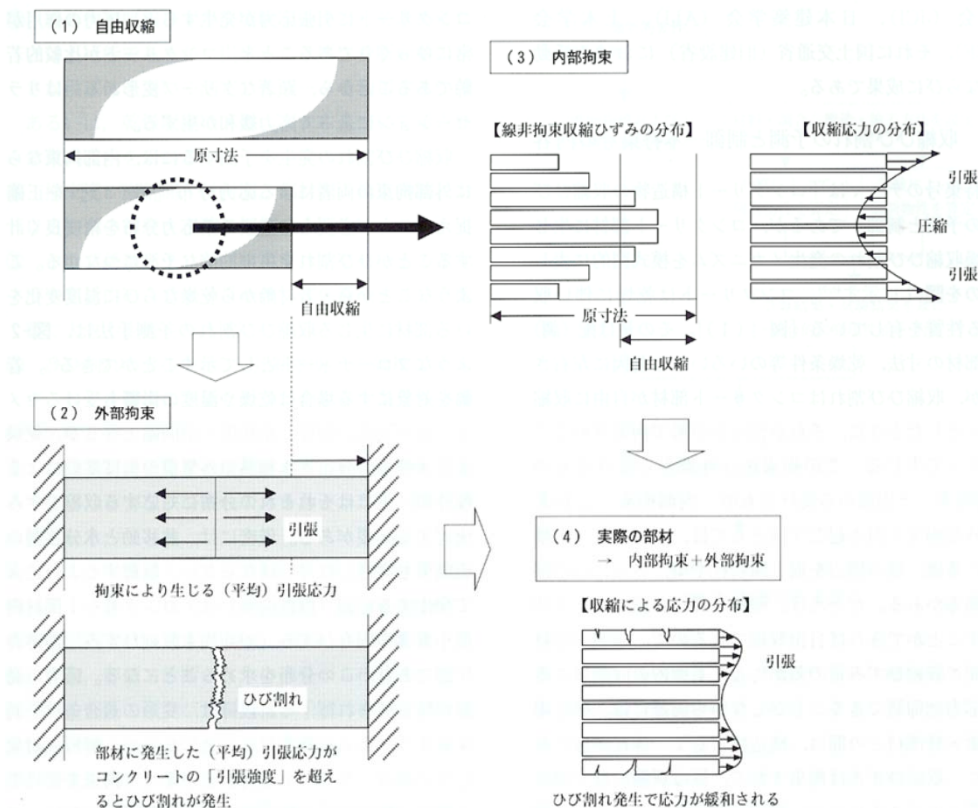
コンクリート工学
2005/5表紙より



コンクリート名人養成講座,
日経コンストラクション

N. 収縮ひび割れのメカニズム

- コンクリートの**自己収縮**及び**乾燥収縮**に伴う変形が、内的あるいは外的に拘束されると、コンクリートに引張応力が作用し、ひび割れが発生



自己収縮とは？

セメントの水和反応の進行によりコンクリートの体積が減少し、収縮する現象

(W/C 小 → 自己収縮 大)

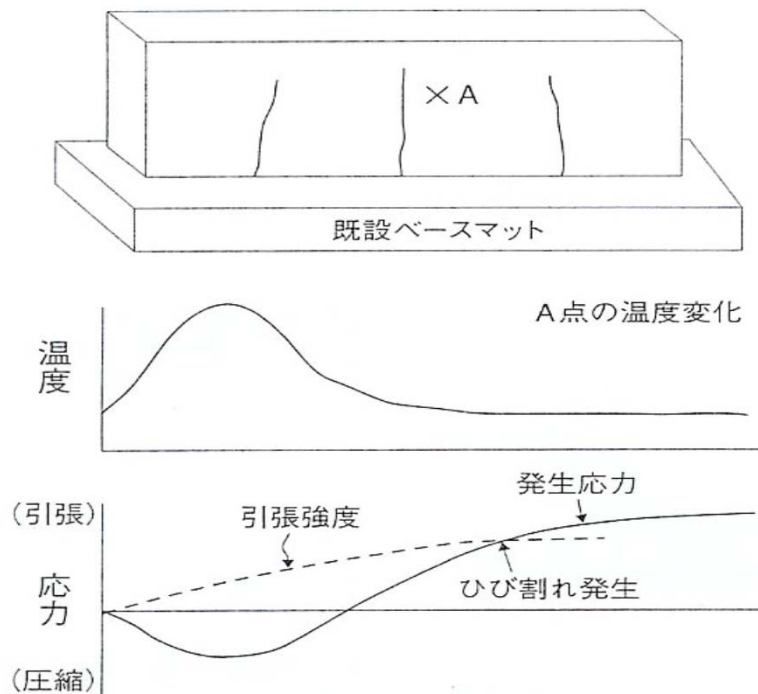
乾燥収縮とは？

乾燥によるコンクリート中の水分蒸発により、コンクリートの体積が減少し、収縮する現象

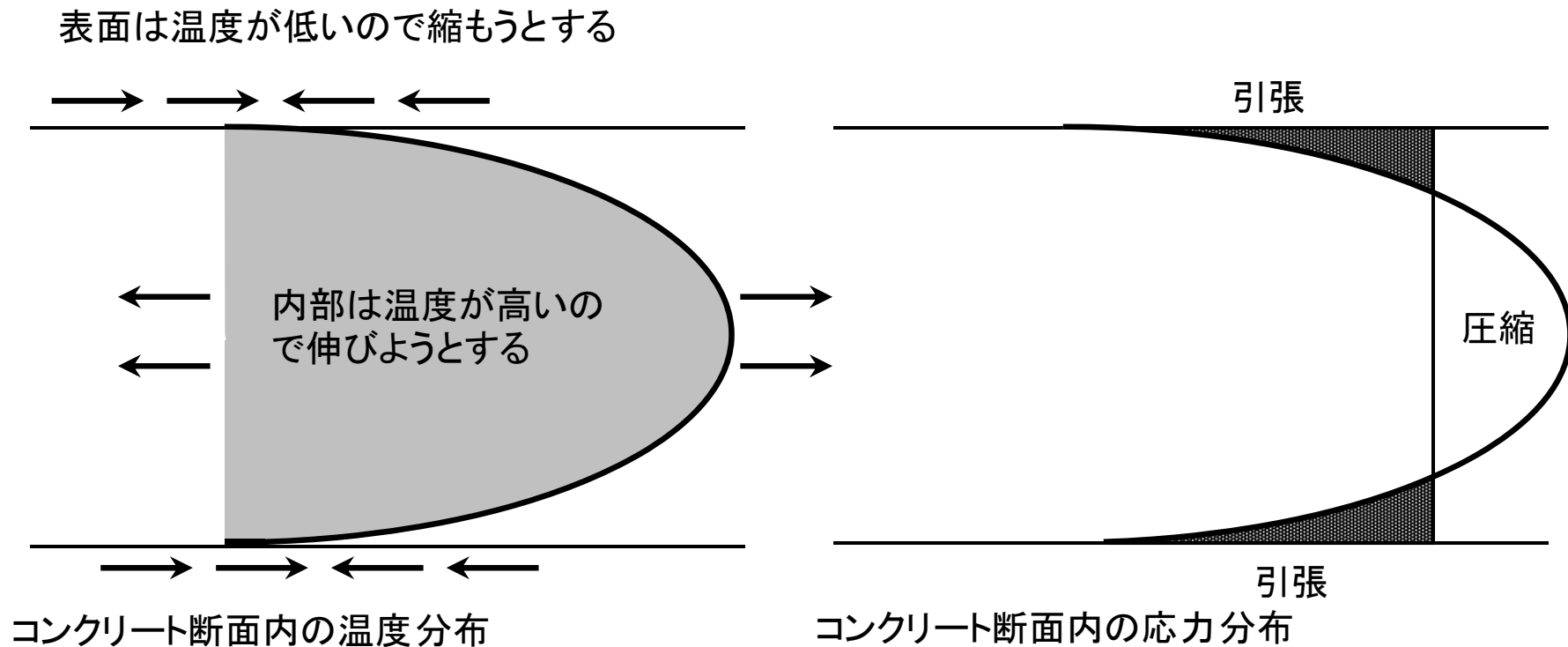
(W, W/C 大 → 乾燥収縮 大)

N. 温度ひび割れのメカニズム

- セメントの**水和熱**に伴うコンクリート温度の上昇・降下
がコンクリートの変形(膨張・**収縮**)を引き起こし、これ
が内的あるいは外的に拘束されると、コンクリートに引
張応力が作用し、ひび割れが発生する現象

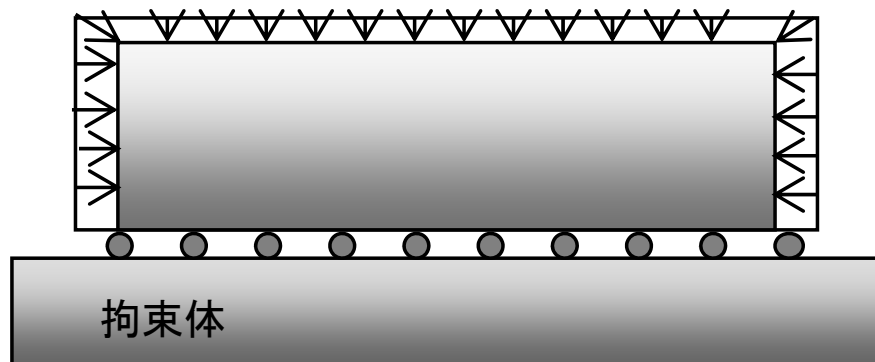


N. 内部拘束によるひび割れ



N. 外部拘束によるひび割れ

拘束体の拘束が弱い場合

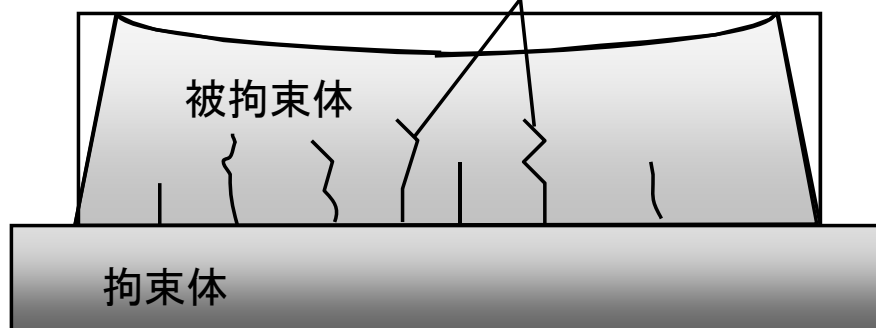


拘束体の拘束が強い場合 (A図、B図)

A図のようなひび割れ概念図もあるが、実際に観察されるひび割れは、B図のように高さ中央付近でひび割れ幅が大きく、上下方向ではむしろ小さくなっている。

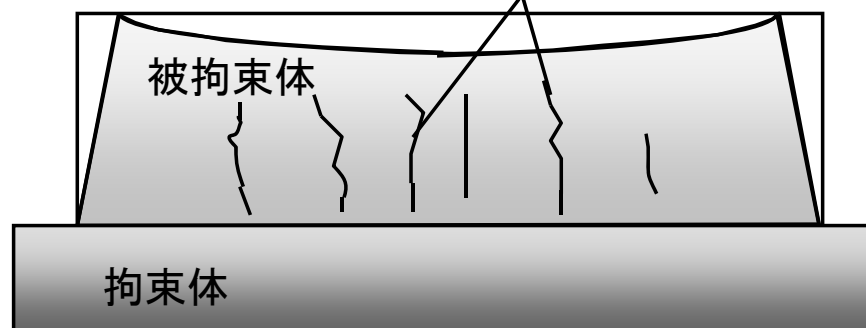
A図

ひび割れ

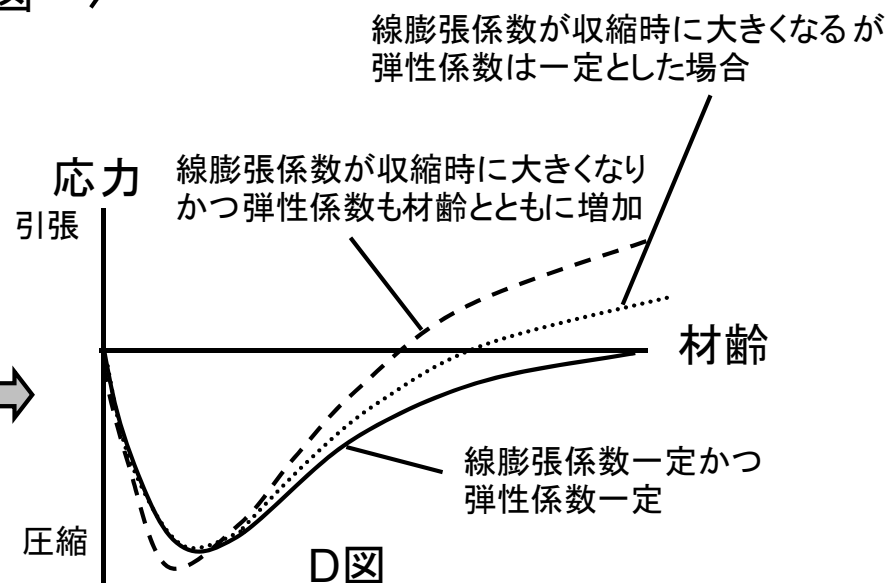
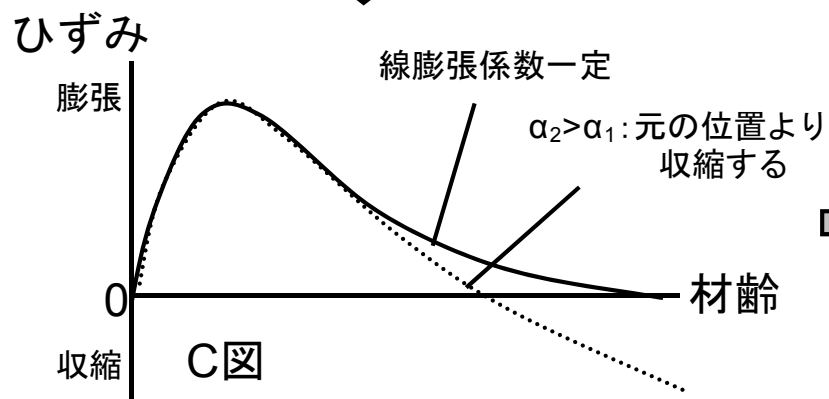
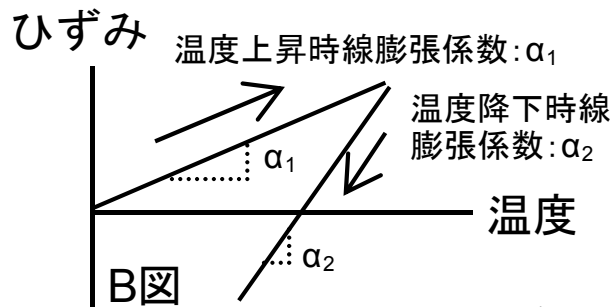
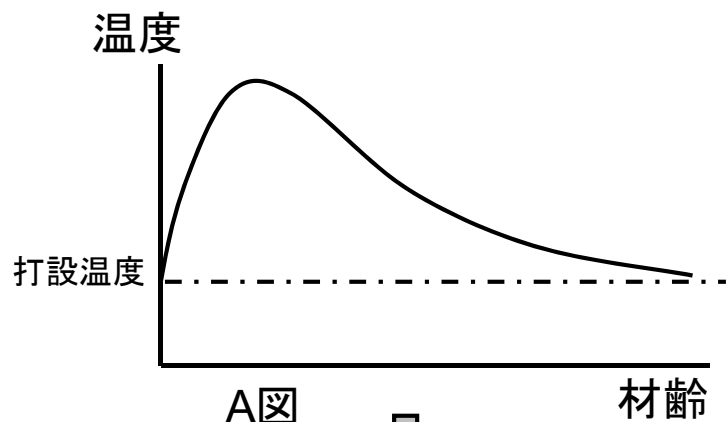


B図

ひび割れ



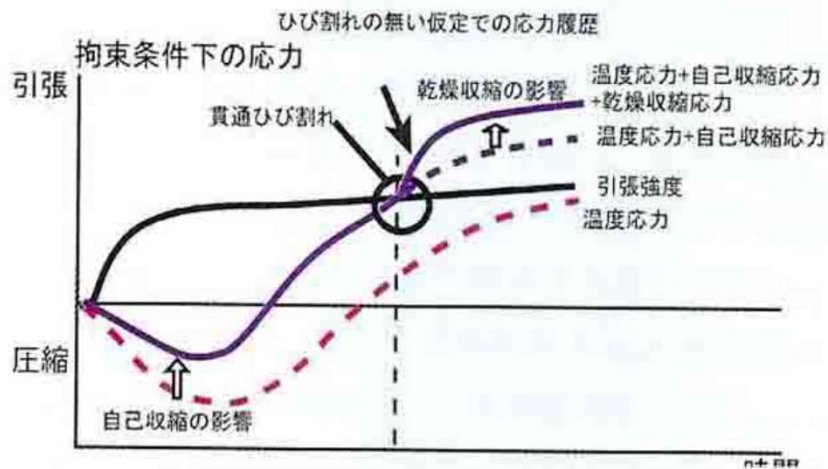
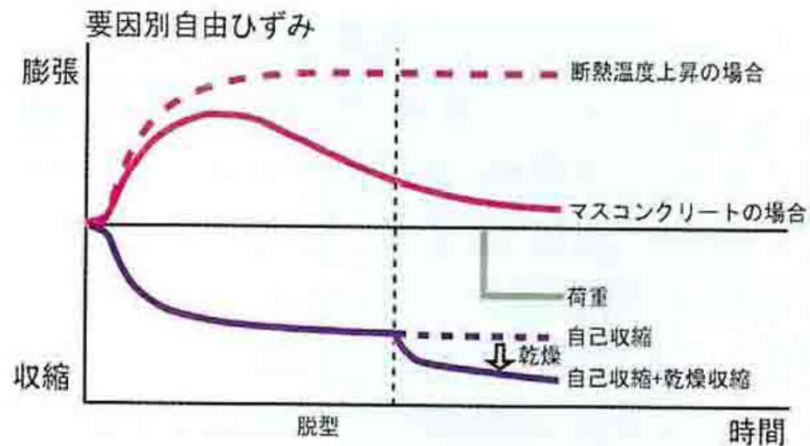
N. 温度応力の詳細メカニズム



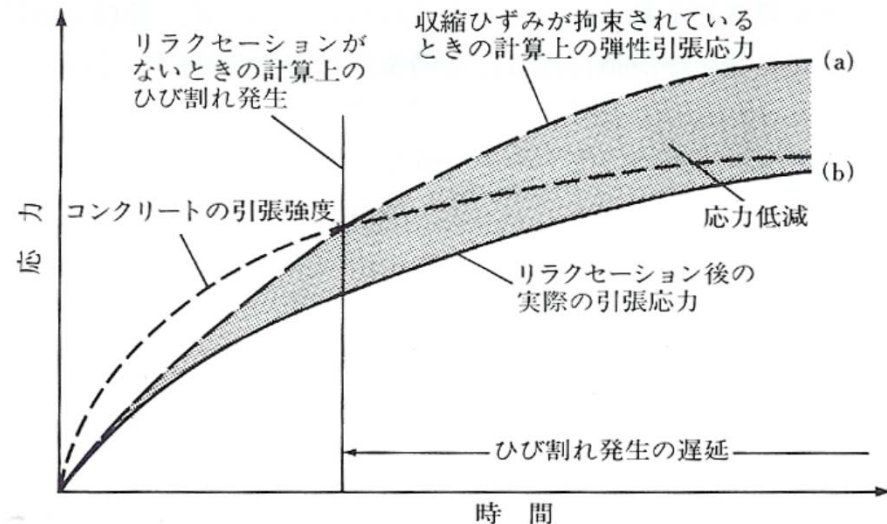
$$\varepsilon = \alpha \Delta T$$

$$\sigma = E \varepsilon$$

N. ひび割れの詳細メカニズム



佐藤良一, 丸山一平: コンクリート工学, Vol.43, No.5



P. Kumar Mehta・Paulo J. M. Monteiro著, 田澤榮一, 佐伯昇監訳: コンクリート工学, 技報堂出版

ひび割れ発生条件

$$f_t(t) < \sigma_t(t) = Kr(t) \cdot E_c(t) / (1 + \phi(t)) \cdot \epsilon(t)$$

ここで,

$f_t(t)$: コンクリートの引張強度 (MPa)

$\sigma_t(t)$: コンクリートの引張応力 (MPa)

$Kr(t)$: 部材の拘束度

$E_c(t)$: コンクリートの弾性係数 (MPa)

$\phi(t)$: コンクリートのクリープ係数

$\epsilon(t)$: コンクリートの(収縮)ひずみ

これら全てが時間依存性, 温湿度依存性を示す。

N. コンクリート内部の膨張圧により生じるひび割れ

- 塩害・中性化：**鋼材腐食**に伴う膨張
- アルカリシリカ反応：**骨材の反応**に伴う膨張
- 凍害：**細孔水の凍結**に伴う膨張



N. ひび割れと変形-1

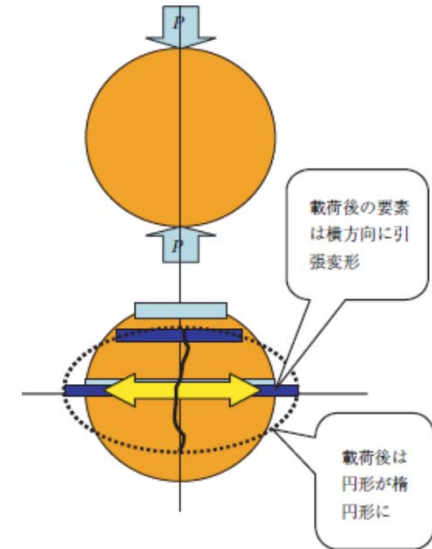
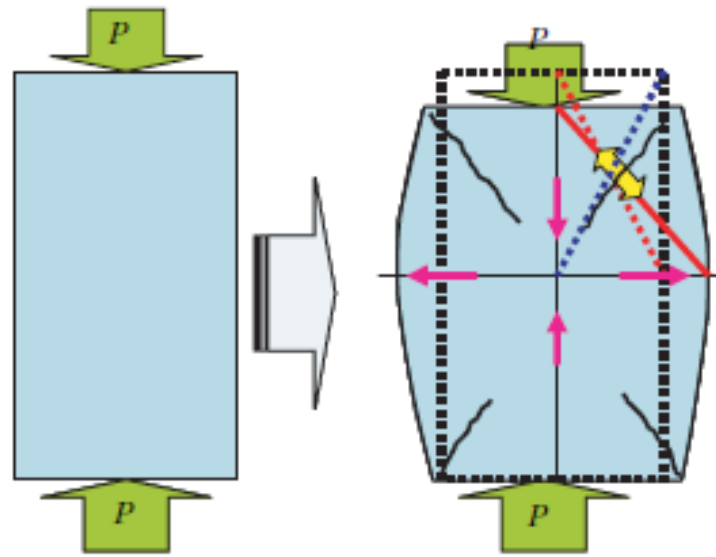
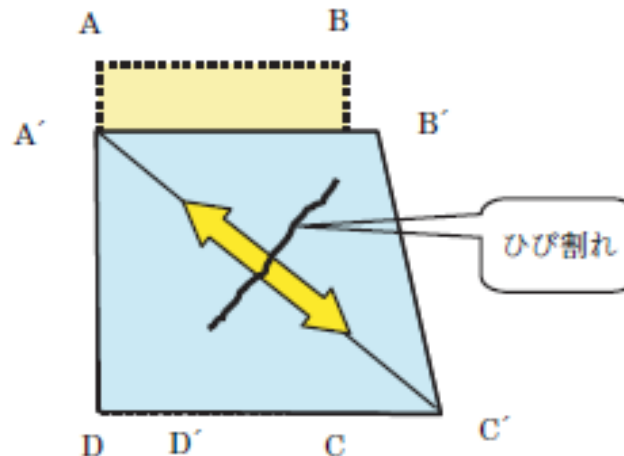


図-8.4 軸圧縮変形（載荷面の摩擦有）

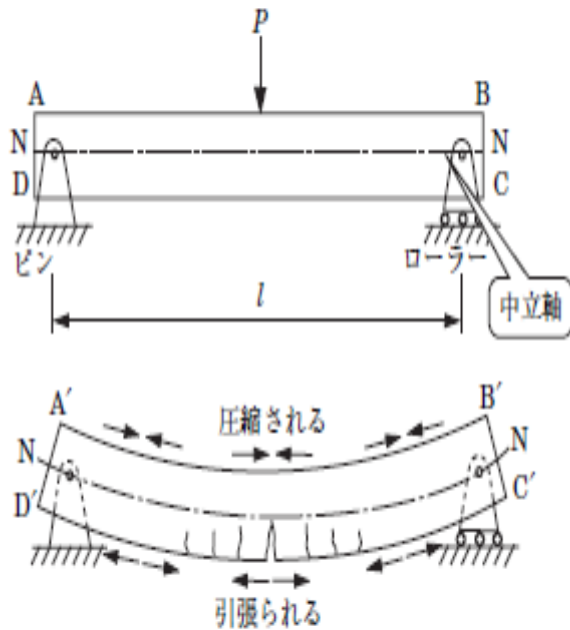
コンクリートは引っ張られる方向と垂直にひび割れる。→ひび割れと垂直に引っ張られている。



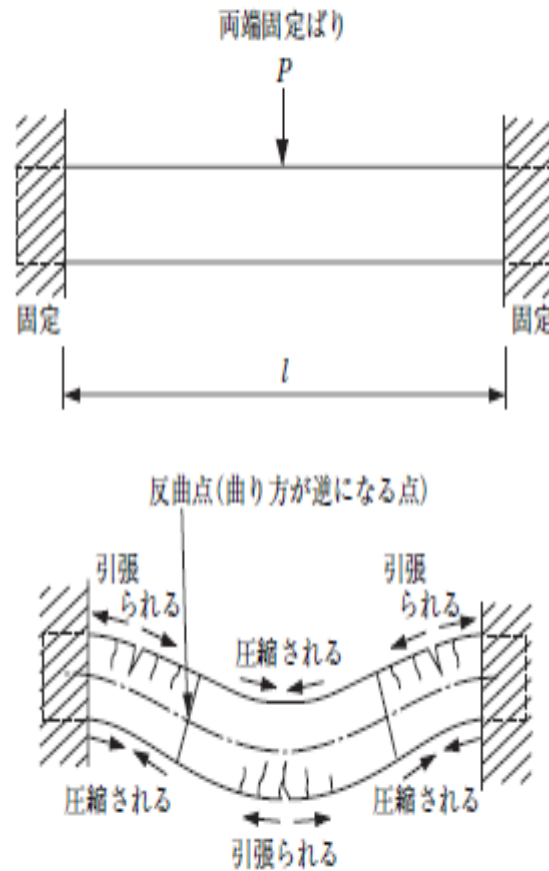
川上, 小野, 岩城:
コンクリート構造物の力学
-解析から維持管理まで-,
技報堂出版, 2008.

N. ひび割れと変形-2

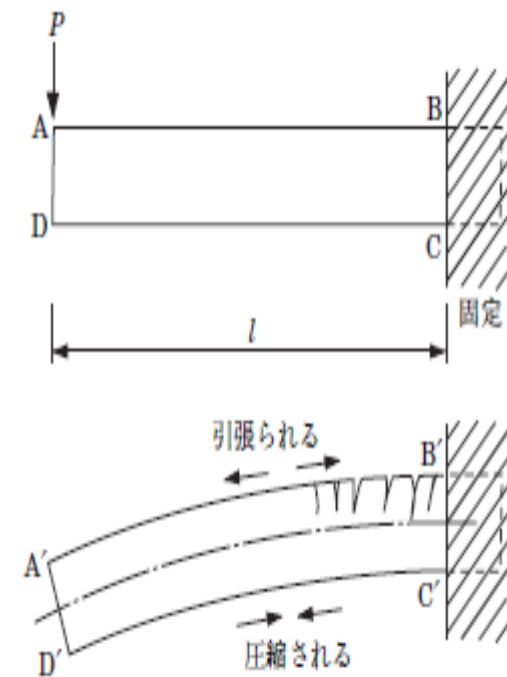
単純はり



両端固定はり



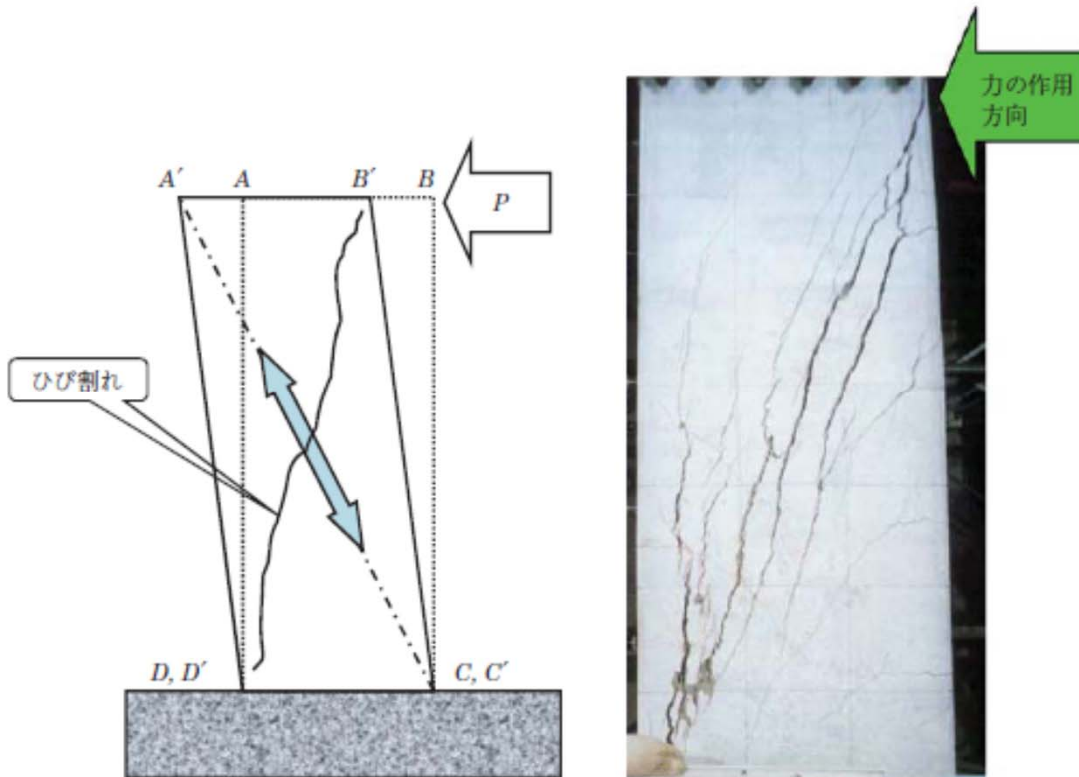
片持ちはり



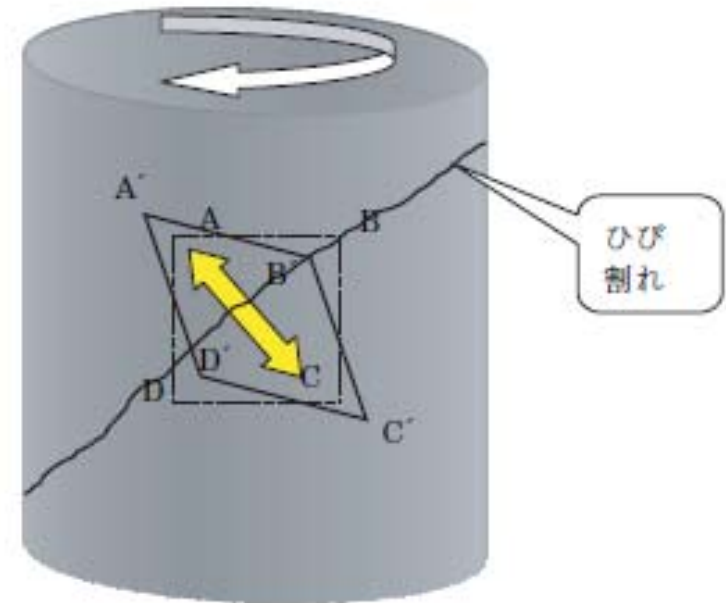
川上, 小野, 岩城:
 コンクリート構造物の力学
 -解析から維持管理まで-,
 技報堂出版, 2008.

N. ひび割れと変形-3

せん断変形とひび割れ



ねじり変形とひび割れ



川上, 小野, 岩城:
コンクリート構造物の力学
-解析から維持管理まで-,
技報堂出版, 2008.

N. ひび割れに対する考え方

大前提

- 鉄筋コンクリート構造物はひび割れを許容する。



ただし、

- 使用荷重作用下における過大なひび割れは許容しない。
- 施工段階で発生する巨視的な(目視可能な)ひび割れは許容しない。

N. 使用限界状態に対するひび割れの設計

- 使用限界状態に対する考え方: 発生するひび割れ幅 w が許容ひび割れ w_a 以下であることを照査: $w \leq w_a$
- ひび割れ間隔とひび割れ幅 w の関係は,

$$w = \left(\frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon'_{cs} \right) l, \quad l = 4c + 0.7(c_s - \phi)$$

ここに σ_s : ひび割れ位置の鋼材応力度, E_s : 鋼材のヤング係数, ε'_{cs} : コンクリートの乾燥収縮ひずみ, c : かぶり, c_s : 鋼材の中心間隔, ϕ : 鋼材の直径

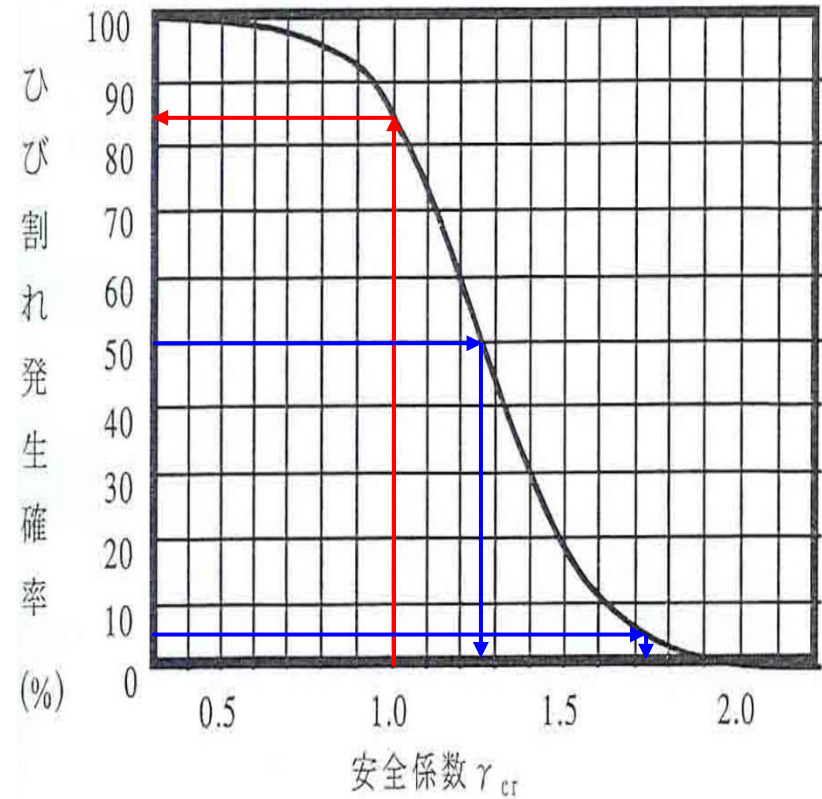
表 7.4.1 許容ひび割れ幅 w_a (mm)

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005c	0.004c	0.0035c
PC 鋼材	0.004c	—	—

コンクリート標準示方書[設計編]より

N. 施工段階におけるひび割れの設計

- $l_{cr}(t) \geq \gamma_{cr}$
- $l_{cr}(t)$: ひび割れ指数, $l_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t)$
- $f_{tk}(t)$: 材齢(t)におけるコンクリート引張強度の特性値
- $\sigma_t(t)$: 材齢(t)におけるコンクリート最大引張応力度 → 解析により算出
- γ_{cr} : ひび割れ発生危険度およびひび割れ指数の精度に関わる安全係数
- 一般に1.0~1.8としてよい。
- ひび割れを防止したい場合: 1.75以上 ($P \leq 5\%$)
- ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合: 1.45以上 ($P \leq 25\%$)
- ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大にならないように制限したい場合: 1.0以上 ($P \leq 85\%$)



コンクリート標準示方書[施工編]より

N. 各段階でのひび割れ対策

計画上

- ひび割れの発生しない構造形式→現実的に難しい.

設計上

- **単位水量**(単位セメント量)をできるだけ**小さく**する.
- **混合セメント**, **低発熱セメント**を使用する.
- **膨張材**, 収縮低減剤を使用する.
- **ひび割れ誘発目地**を配置する.

施工上

- 合理的な**打設計画**
- **養生を丁寧に出来るだけ長く**行う(湿潤養生, 封かん養生, 保温養生).

維持管理上

- 発生した**ひび割れの補修**(事後保全)

N. ひび割れ制御するための留意事項

- ひび割れに対する正しい知識と理解が必要：どんなに策を講じて丁寧に施工してもひび割れは発生することがある。→膨張材一つとってもまだその効果は良くわかっていない。
- ひび割れの可能性(発生確率)を下げることは可能だが、ゼロにすることは難しい。→コンクリートは「ひび割れ」ることを前提に対策をし、説明しては？
- 経済的に可能な対策は不可欠＋誘発目地の配置，打設区間の細分化，目地・打継部の止水対策・中性化抑制対策

N. 福島県内のひび割れ事例から

事例A

- ひび割れ幅: 最大0.8mm
- 発生時期: 施工段階
- 発生箇所: 本体(プレキャスト)
- 主因: 外力(土圧, 沈下)
- 状態: 終局限界
- 対策: 補強(抜本的対策)



事例B

- ひび割れ幅: 最大0.4mm
- 発生時期: 竣工後
- 発生箇所: 補強部材(場所打ち)
- 主因: 拘束(乾燥収縮)
- 状態: 使用限界
- 対策: 補修+観察



N. ひび割れ幅0.2mmの扱い？

- 施工段階において0.2mmのひび割れが生じた場合、補修が必要か？



河野京都大学教授のコメントより

- 国土交通省の通達は、「重要構造物について、施工段階で0.2mm以上のひび割れが生じた場合、**これを記録する必要がある。**」とただけであり、全て補修が必要と言っているわけではない。
- 現在のひび割れに対する反応は過剰である。場合によってはひび割れ対策の必要のない箇所にまで対策を施し、これにより却って構造物の性能を低下させている場合も見受けられる。

N. ひび割れに関するまとめ

- ひび割れは、外力によるひび割れ，変形の拘束によるひび割れ，コンクリート内部の膨張(劣化)によるひび割れに大別される。
- ひび割れは主引張応力(伸び)に対して垂直に発生する。
- 鉄筋コンクリートはひび割れを許容する。ただし，許容できないひび割れもある。
- 設計・施工上の対策によりひび割れの発生確率を下げることが可能だが，ゼロにすることは不可能。



コンクリート・ドクターに望むこと

- ひび割れに対する正しい知識と理解
- インフラ整備と管理に対する自覚と責任