



11. 補修補強技術③

Interventions (3)

維持管理システム工学研究室

松本 浩嗣

A5-09室, 内線6219

km312@eng.hokudai.ac.jp



コンクリート構造物の補修

Repair of concrete structures

- 表面処理 surface treatment
 - 想定外の劣化(損傷)に対する対策 unplanned intervention for unpredicted deterioration (damage)
 - 劣化因子(水分, 塩化物イオン, 二酸化炭素, 腐食性化学物質, 等)のコンクリート表面からの侵入を抑制 prevention of ingress of deterioration factors (moisture, chloride ion, carbon dioxide, corrosive chemical substance, etc) from concrete surface
 - コンクリートよりも物質透過性の低い物質を適用 application of material with lower permeability/diffusivity than concrete
 - 塩化物イオン浸透の場合, 以下の式の拡散係数 D_{ap} が小さくなるのと同じ効果 for the case of chloride ion ingress, same effect as making diffusion coefficient D_{ap} for chloride ion smaller
 - 以下の式中, C は塩化物イオン濃度 C in the formula is chloride ion content

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) + C_{initial}$$



(Photo: Fuji PS Corporation)

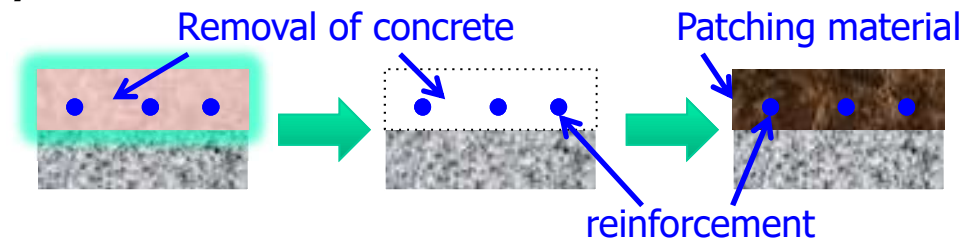
コンクリート構造物の補修

Repair of concrete structures

- 断面修復工 patching

- 想定外の劣化(損傷)に対する対策 **unplanned intervention for unpredicted deterioration (damage)**
- 劣化因子(塩化物イオン等)を含むコンクリート部あるいは劣化(変状)したコンクリート部を取り除き, 物質透過性の低い材料あるいはより耐久性のあるコンクリートで修復する **After removing concrete containing substance causing deterioration (chloride ion, etc) or deteriorated (changed) concrete, patching is conducted with material (concrete or other than concrete) whose permeability is low.**
- 劣化(変状)の要因は, 疲労, 中性化, 凍結融解作用, アルカリ骨材反応, 化学浸食 **causes of deterioration (change) are fatigue, carbonation, freeze thaw cycles, alkali aggregate reaction, chemical attack**
- 塩化物イオン浸透の場合, 下式の D_{ap} が **小さく**, $C_{initial}$ も小さくなる. **For chloride ion ingress, both D_{ap} and $C_{initial}$ become smaller**

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_{ap}t}} \right) + C_{initial}$$



コンクリート構造物の補修

Repair of concrete structures

ひび割れ注入工
crack injection

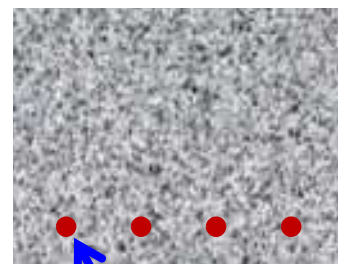


(Photo:
SHO-BOND
Corporation)

- ひび割れ注入工 **crack injection**
 - 想定していない劣化(損傷)に対する対策 **unplanned intervention for unexpected deterioration (damage)**
 - ひび割れを通して侵入する劣化因子(水分, 塩化物イオン, 二酸化炭素, 等)の侵入抑制 **prevention of ingress of deterioration factor (moisture, chloride ion ingress, carbon dioxide, etc) through cracks**
 - ひび割れで失われた引張強度・剛性の回復 **restoration of tensile strength/stiffness lost after cracking**
- 電気防食工法 **corrosion prevention/control**
 - 鋼材の腐食電流を電気化学的な方法で防止・低減する **prevention/mitigation of corrosion electrical current by electrochemical way**
 - 鋼材よりも腐食しやすいものを犠牲材料として使い, 防食する **prevention of corrosion by applying sacrificed material which is more corrosive than steel**
- 再アルカリ化 **re-alkalization**
 - 想定していない劣化(損傷)に対する対策 **unplanned intervention for unexpected deterioration (damage)**
 - 想定以上に中性化が進んだ箇所を電気化学的に再アルカリ化する **electrochemical re-alkalization of concrete whose carbonation depth is greater than expected**

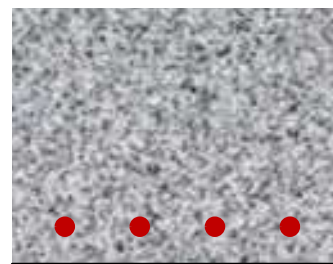
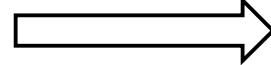
コンクリート構造物の補強 Strengthening of concrete structures

- 接着工法 External bonding
 - コンクリート表面に引張補強材を接着する。 External bonding of tension reinforcement on concrete surface
 - 引張補強材としては、鋼材やFRPがある。 Steel and FRP as tension reinforcement
 - 接着工法の弱点は、「はく離」 “debonding” as drawback



鉄筋
reinforcement

補強
strengthening



接着した鋼板またはFRP
externally bonded steel or
FRP

コンクリート構造物の補強 Strengthening of concrete structures

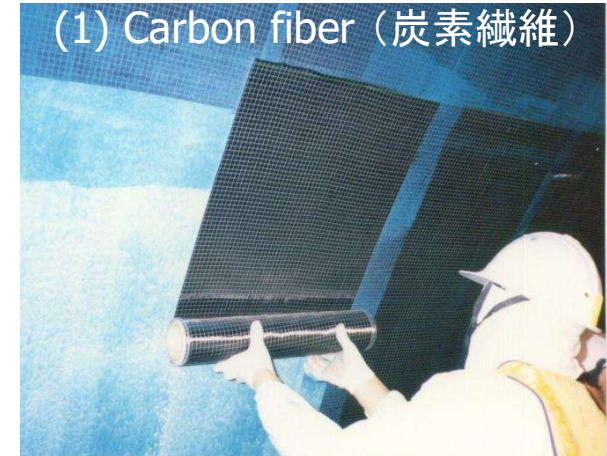
• 接着工法 External bonding

(3) PET fiber
(PET繊維)

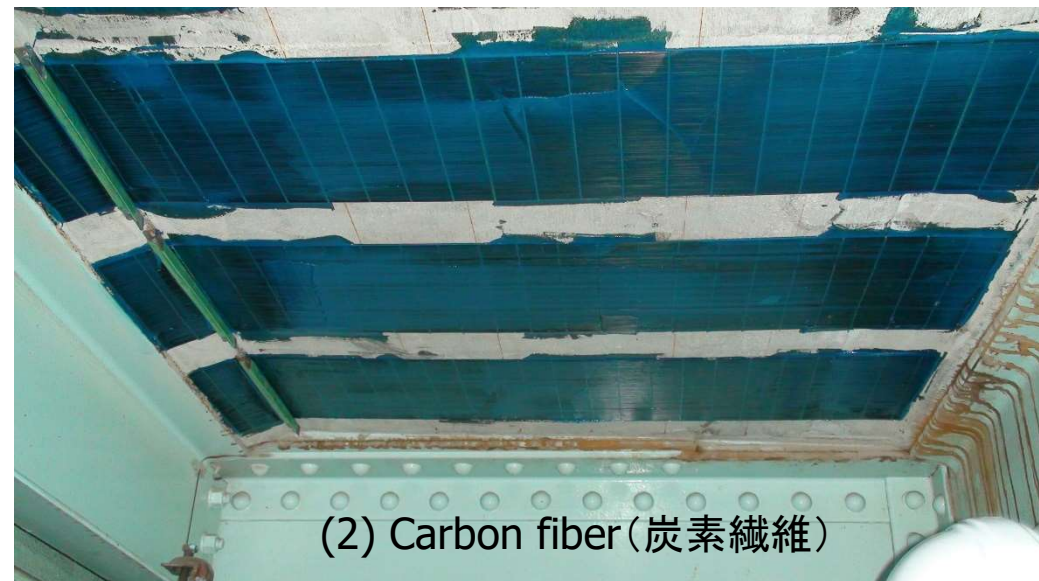


FRPシートを接着する Bonding externally FRP sheet

(1) Carbon fiber (炭素繊維)



- (1) External bonding for prevention of concrete delamination (コンクリート剝落防止用の接着工法)
- (2) External bonding of concrete deck (コンクリート床版補強用の接着工法)
- (3) Jacketing for seismic retrofit of concrete column (コンクリート柱耐震補強用の巻立て工法)



(2) Carbon fiber (炭素繊維)

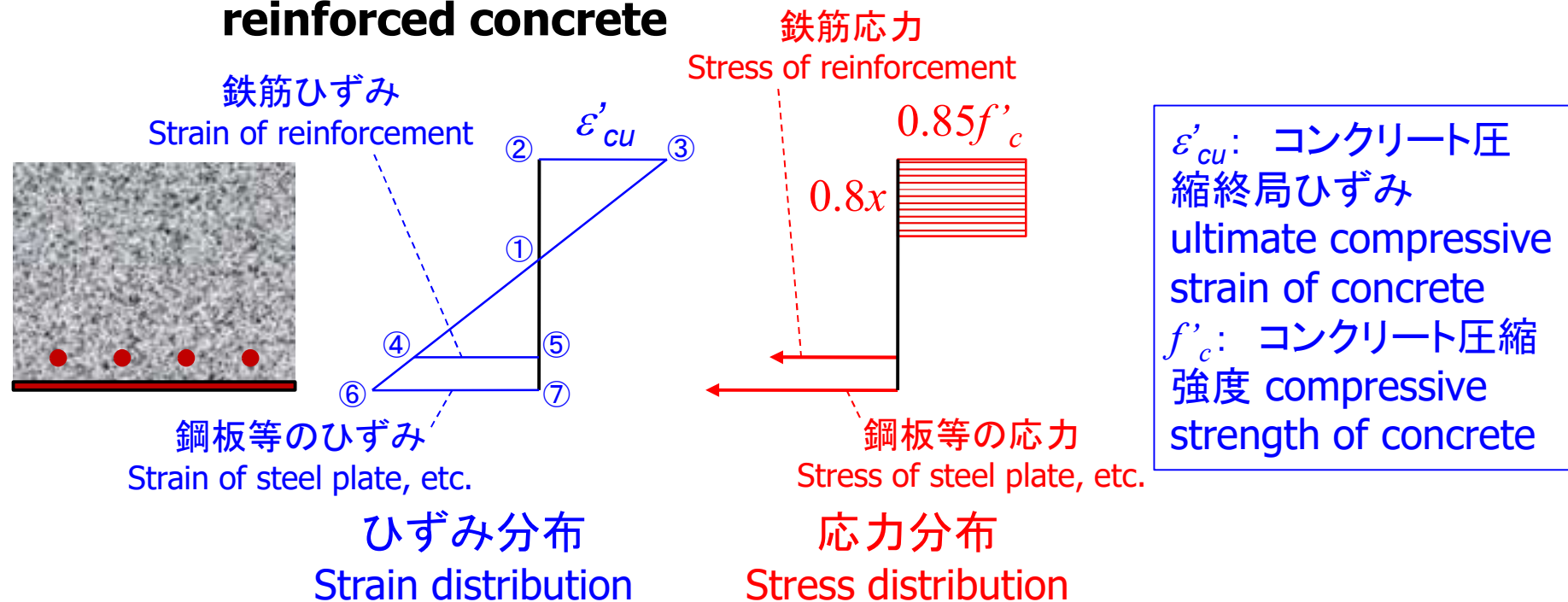
コンクリート構造物の補強

Strengthening of concrete structures

- 接着工法 external bonding

- 部材の耐力の計算 calculation of ultimate load-carrying capacity

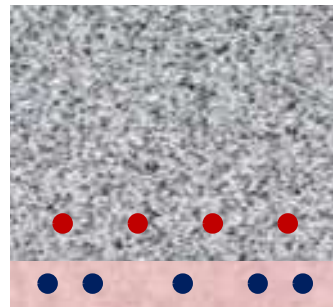
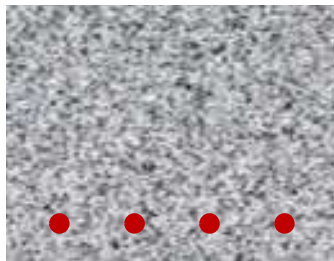
- 鉄筋コンクリートと同様の方法 same as that for reinforced concrete



コンクリート構造物の補強

Strengthening of concrete structures

- 増厚工法 **Overlaying (Strengthening with overlay)**
 - コンクリート表面に引張補強材を含んだセメント系材料を層状に塗る・吹付ける。 **Spreading/spraying on concrete surface of cementitious material containing tension reinforcement**
 - 引張補強材としては、棒状の鋼材や**FRP**，短繊維（鋼繊維，化学繊維）がある。 **Steel/FRP rod and steel/synthetic short fiber**
 - 増厚工法の弱点は、「はく離」(⇒接着工法と同じ) “**debonding**” as drawback (**same as external bonding**)



引張補強材を中に含む
層状のセメント系材料
spread/sprayed cementitious
material layer containing
tension reinforcement

コンクリート構造物の補強 Strengthening of concrete structures

- 増厚工法 Overlaying (Strengthening with overlay)



(www.kensetsu-plaza.com)

増厚補強後のはりの載荷試験
Loading test of beam with overlaying

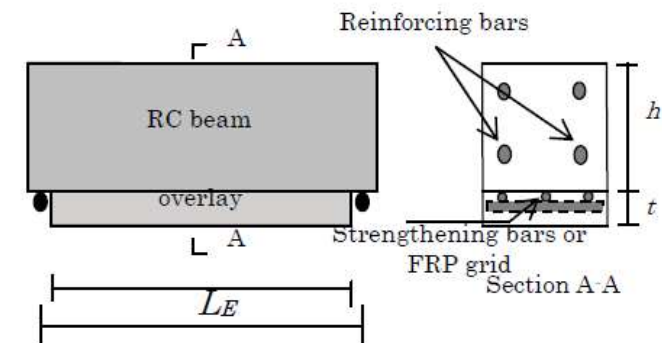
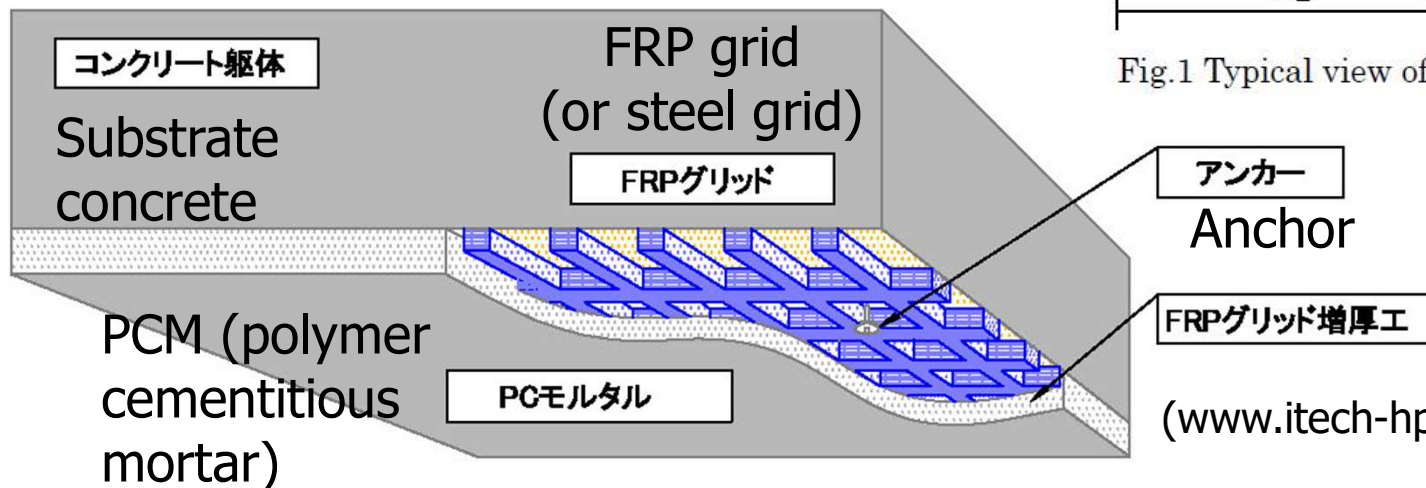


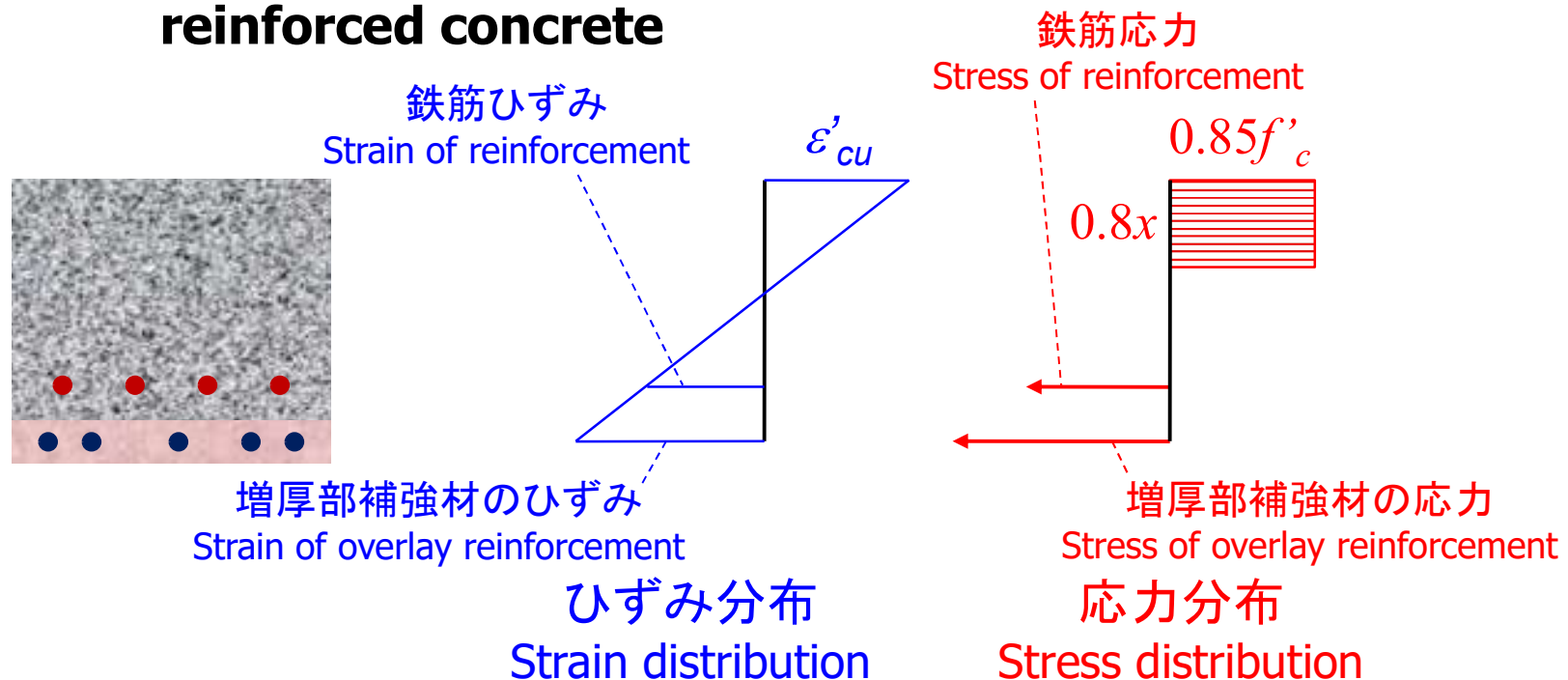
Fig.1 Typical view of overlay method



(www.itech-hp.com)

コンクリート構造物の補強 Strengthening of concrete structures

- 増厚工法 strengthening with overlay
 - 部材の耐力の計算 calculation of ultimate load-carrying capacity
 - 鉄筋コンクリートと同様の方法 same as that for reinforced concrete

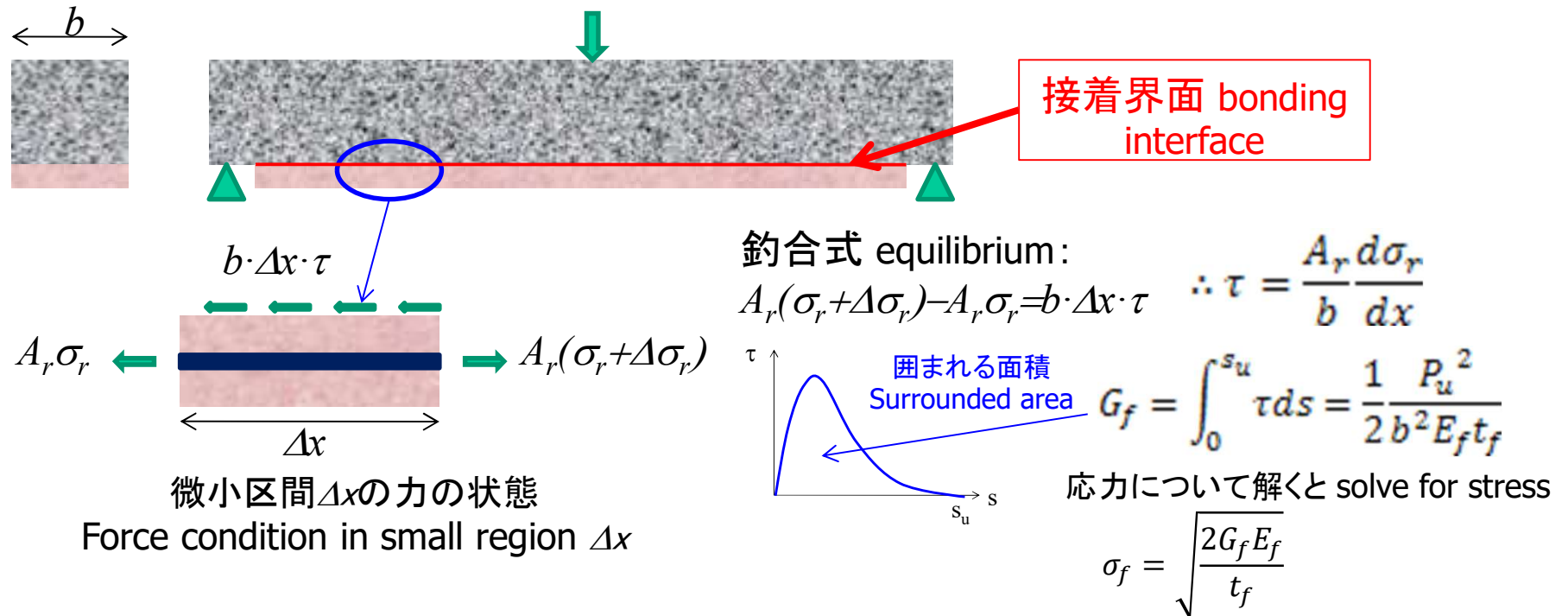


コンクリート構造物の補強 Strengthening of concrete structures

- はく離の予測手法 prediction method for debonding

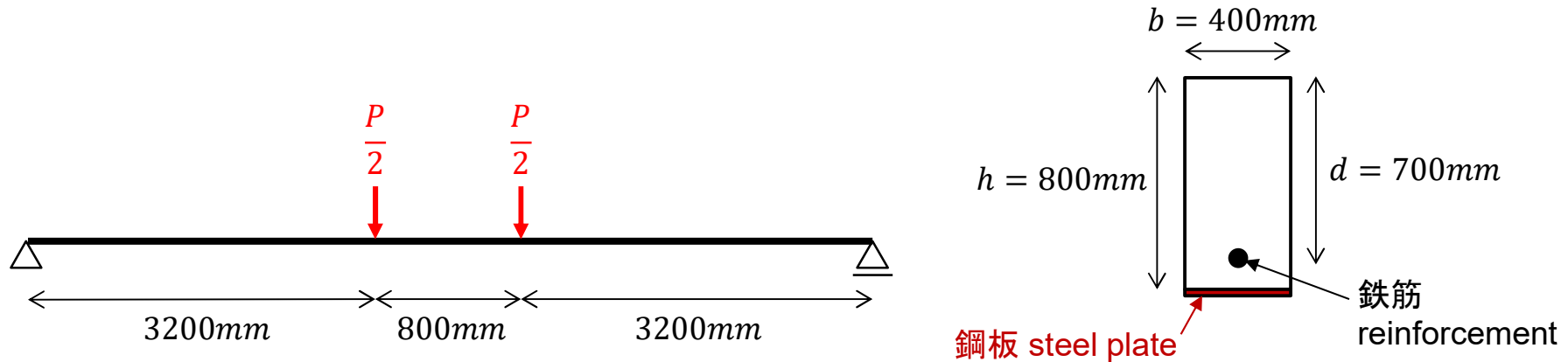
接着面のせん断応力 τ とすべり s の関係から得られる式に、実験で求められる破壊エネルギー G_f を代入して、剥離時の補強材の引張応力 σ_f を算出。 Calculate tensile stress of strengthening materials at debonding σ_f from the equations derived from the relationship between shear stress τ and slip s by substituting fracture energy G_f obtained from experiments

詳しくは大学院で For details, explained in the graduate school lecture



レポート課題

Report Assignment



上図に示す, 単純支持され, スパン中央部分に対称2点荷重を受けるRCはりを考える. 車両重量の増加により, $P = 25\text{ton}$ から 40ton に荷重が増加することが予想されたため, 鋼板接着補強を行うことを検討している. 鉄筋の降伏強度 $f_y = 400\text{N/mm}^2$, 鉄筋の断面積 $A_s = 2000\text{mm}^2$, 鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$, コンクリートの圧縮強度 $f'_c = 30\text{N/mm}^2$ である.

Consider a simply supported RC beam which two-point loading is applied at the mid as shown in the above figure. Due to increase of vehicle weight, the load is expected to increase from $P = 25\text{ton}$ to 40ton , consequently strengthening by using a steel plate is planned. Where, yielding strength of reinforcement $f_y = 400\text{N/mm}^2$, Area of reinforcement $A_s = 2000\text{mm}^2$, elastic modulus of reinforcement $E_s = 200\text{kN/mm}^2$, compressive strength of concrete $f'_c = 30\text{N/mm}^2$.

1. 補強が必要かどうか, 曲げ破壊荷重から判定しなさい. Check the necessity of the strengthening in terms of the flexural failure load.

レポート課題（続き）

Report Assignment (cont.)

2. 鋼板の幅は、はりの幅と同じ400mmで、板厚は2.5mm、降伏強度と弾性係数は鉄筋と同一である。補強により $P = 40\text{ton}$ に耐えられるようになるかどうか、曲げ破壊荷重から判定しなさい。なお、鋼板は堅固にコンクリート表面に接着されており、剥離しないと仮定してよい。Width of the steel plate is 400mm (same as that of the beam), thickness of the steel plate is 2.5mm, and yielding strength and elastic modulus of the steel plate are the same as those of the reinforcement. Check whether the beam after strengthened can resist against $P = 40\text{ton}$ or not in terms of the flexural failure load. You can assume that the steel plate is strongly attached to the concrete surface and debonding does not occur.

提出期限: 2020年8月3日 Due date: 3rd August, 2020