

Slide 2

想定外：新設構造物は、劣化が生じないように設計されている。たとえば、塩害に関してはフィックの拡散方程式を用いて、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達しないようにしているし、凍害に関しては、凍害危険度に応じて AE 剤などを用いて、顕著な劣化が生じないようにしている。しかし、施工誤差でかぶり厚が小さくなったり、局所的に液水が作用することで凍害が促進されたり、既設構造物には様々な「想定外」の理由で劣化が生じている。

Unplanned: New structures are designed so that they are not deteriorated. For example, for chloride attack, it is designed so that chloride ion concentration at the location of rebars does not reach the critical value for corrosion occurrence by using the Fick's diffusion equation, and for frost damage, concrete is designed so that significant damage does not occur by using AE agent, etc. according to the vulnerable factor. However, existing structures are deteriorated by various "unplanned" factors such that cover depth becomes smaller due to construction errors, frost damage is accelerated by location action of liquid water, etc.

表面処理の方法として、単にコンクリート表面をコーティングする表面被覆工法と、ある程度の深さまで保護剤を含浸させる表面含浸工法がある。

As for the surface treatment, there are two methods. One is that concrete surface is just coated so-called *surface coating method* and the other is that certain depth of concrete is impregnated so-called *surface impregnation method*.

Slide 3

断面修復工は表面処理工法と比べて、劣化因子を取り除くことができることに長所があるが、その分大掛かりで時間もコストもかかる。鉄筋腐食の場合は、腐食生成物を取り除き、鉄筋を防錆処理して、場合によっては追加の鋼材を配置する。

Comparing to the surface treatment, patching has a merit that deterioration factors can be removed, but its cost is higher. In the case of rebar corrosion, rust is removed, anti-corrosion agency is painted, and additional reinforcement is provided (if any).

Slide 4

ひび割れ注入工では、まずひび割れをシーリングし、インジェクター（左図の注射器のようなやつ）を使って樹脂等をひび割れ内部に注入する。

In crack injection, surface of cracks is sealed first, and then resin is injected into the cracks by using injectors (see the left photo).

Slide 5

どんなに強い材料で補強しても、剥離してしまったら補強効果はゼロである。したがって、

どのように接着するかが重要となる。鋼板の場合は、アンカーボルトなどを使って、機械的に堅固にコンクリートに接着するのが一般的である。一方、FRPの接着にはエポキシ系の樹脂が多く使われる。付着強度を増すため、様々な樹脂が開発されている。

Even high strength materials are used, if they are debonded, their strengthening effect is none. Therefore, how to attach strengthening materials is very important. In the case of steel plates, in general, they are mechanically and strongly attached to concrete surfaces by using anchor bolts, etc. On the other hands, in the case of FRP, resin is used to attach to concrete surface. To enhance the bond strength, various types of resin are developed.

Slide 6

FRPの中で最も代表的なのは炭素繊維である。その高強度、軽量、耐食性などの利点を活かして、構造物の補強材だけでなく、航空機や船舶の材料、バドミントンやテニスのラケット、釣り竿、ロードバイクのフレームなど、様々な分野で使われている。

Carbon fiber is the most typical FRP. By utilizing its advantages such as high strength, lightweight, anti-corrosion, etc., it is used for not only strengthening materials for infrastructures but also other various fields such as material of aircraft and ships, rackets of badminton and tennis, fishing poles, frame of road bikes, etc.

Slide 7

RCはりの曲げ耐力の計算は、「コンクリート構造学」を履修した人は学習したはずである。その基本的な流れは、以下のとおりである。

- (1) ひずみ分布を直線で描く（平面保持の仮定）。コンクリート圧縮終局ひずみは、0.0035としてよい。中立軸位置を頂点とした三角形が複数あるので（このスライドでいえば、 $\triangle 1\textcircled{2}\textcircled{3}$, $\triangle 1\textcircled{5}\textcircled{4}$, $\triangle 1\textcircled{7}\textcircled{6}$ ）、これらの相似則から式を立てる（変形の適合条件）。
- (2) コンクリートには等価応力ブロック、補強材は降伏を仮定して、応力分布を描く。
- (3) 力の釣合い（圧縮合力＝引張合力）条件から、式を立てる。
- (4) (3)から中立軸位置 x が求まる。
- (5) (1)の条件式から、補強材のひずみを求める。降伏ひずみ（＝降伏強度／弾性係数）と比較し、(2)で仮定した補強材の降伏が正しいかどうかを確認する。仮定が正しければ(7)、正しくなければ(6)に進む。
- (6) 補強材の応力＝弾性係数×ひずみに置きなおして、(2)からの計算を再度行う。
- (7) 合力とその作用位置から、断面に生じている曲げモーメントを計算する。

Students who took “Structural concrete” had learned how to calculate flexural capacity of RC beams. The basic flow of the calculation is as follows.

- (1) Draw linear strain distribution (assumption of plane strain distribution). The ultimate compressive strain of concrete can be assumed to be 0.0035. There are several triangles

whose tip is located at the neutral axis (in the slide, $\triangle ①②③$, $\triangle ①④⑤$ and $\triangle ①⑥⑦$), equations can be formed from the similarity law of those triangles (deformational equilibrium).

- (2) Draw stress distribution by using equivalent stress block for concrete and assumption of yielding for reinforcement.
- (3) Equation is formed from the force equilibrium (resultant compressive force = resultant tensile force).
- (4) Position of neutral axis x can be calculated from (3).
- (5) Calculate strain of reinforcement from the equation(s) in (1). Comparing it with the yielding strain (= yielding strength / elastic modulus), check whether the assumption of yielding of the reinforcement in (2) is correct or not. If it is correct, proceed to (7). If not, proceed to (6).
- (6) Replace the stress of reinforcement = elastic modulus x strain, and recalculate from (2) again.
- (7) Calculate bending moment in the cross section from the resultant forces and their locations.

Slide 11

補強材の剥離が想定されるときは、それを設計で考慮しないと、危険側の評価になってしまう（設計上の耐荷力を実際よりも大きく見積もってしまうこと）。補強材の応力がどの程度の大きさになったら剥離が生じるのか、というのが右下の $\sigma f =$ の式である。 G_F は接着面の剥離エネルギーと呼ばれ、接着面の載荷実験を行うことで求めることができる。剥離の予測手法はまだ発展途上であり、このように試験を別途行うことを前提とした設計手法となっている（土木学会の指針では、試験によらない場合、安全側の値として $G_F = 0.5 \text{ N/mm}$ を用いてもよいことになっている）。

When debonding is expected to occur, if it is not considered in design, it becomes dangerous side estimation (estimated load carrying capacity becomes larger than the actual one). The right lower equation for σf represents how much stress induces debonding of strengthening materials. G_F called *debonding energy of interfaces* and can be obtained from the loading tests of strengthening material-concrete interfaces. Since prediction methods for debonding are still developing, current design methods are proposed so that testing is simultaneously conducted (In JSCE recommendations, if testing is not available, as a safety side estimation, $G_F = 0.5 \text{ N/mm}$ can be assumed.)