

非破壊試験と構造解析の融合による
塩害を受けるコンクリート部材の耐荷
性能の評価手法の開発

大阪大学大学院 内田 慎哉

塩害により劣化した鉄筋コンクリート橋
上部工の状況



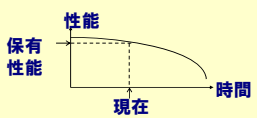
コンクリート構造物の維持管理の基本

①点検(調査)

- ・ひび割れ・内部欠陥
- ・塩化物イオン量
- ・鉄筋の腐食程度 など

②保有性能評価
劣化予測

- ・耐荷性能
- ・使用性能
- ・耐震性能
- ・耐久性能 など

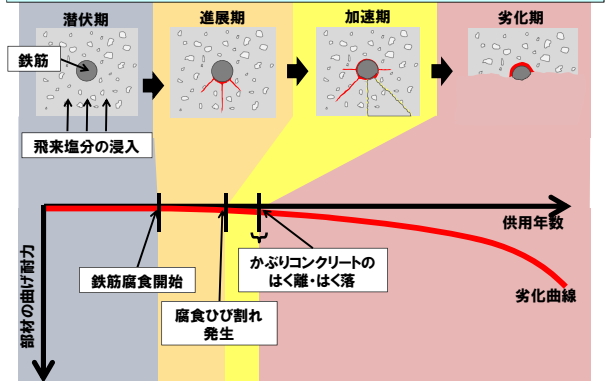


③補修・補強対策
の検討

- ・コスト
- ・耐用年数
- ・設計手法
- ・性能改善度
- ・施工条件 など

塩害による腐食劣化進行過程

コンクリート標準示方書〔維持管理編〕



示方書における「性能評価」と「対策要否判定」

理想的には

定量的な性能評価
(性能低下予測手法の確立)

性能照査(要求性能)
・点検時
・予定供用期間終了時

対策の要否の判定

現状では(実際は)

半定量的なグレーデ
ィングによる方法

構造物の劣化過程(グ
レード)と性能低下
の関連付け

構造物の外観上のグレード(幅を持った評価)
と劣化状態

構造物の外観上 のグレード	劣化状態
I-1 (潜伏期)	外観上の変状が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
I-2 (進展期)	外観上の変状が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上, 腐食が開始
II-1 (加速期前期)	腐食ひび割れが発生, 錆汁が見られる
II-2 (加速期後期)	腐食ひび割れが多数発生, 錆汁が見られる, 部分的なはく離・はく落が見られる, 腐食量の増大
III (劣化期)	腐食ひび割れが多数発生, ひび割れ幅が大きい, 錆汁が見られる, はく離・剥落が見られる, 変位・たわみが大きい

構造物の外観上のグレードと性能				
構造物の外観上のグレード	安全性	使用性	第三者影響度	美観・景観
I-1 (潜伏期)	-	-	-	-
I-2 (進展期)	-	-	-	-
II-1 (加速期前期)	-	-	-	美観の低下 ・ひび割れ ・錆汁 ・鋼材の露出
II-2 (加速期後期)	耐荷力・じん性の低下 ・鋼材断面積の減少 ・浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	剛性低下(変形の増大・振動の発生) ・鋼材断面積の減少 ・鋼材とコンクリートの付着力の低下 ・浮き・はく離によるコンクリート断面の減少	第三者への影響 ・はく離 ・はく落	
III (劣化期)				

構造物の外観上のグレード	標準的な工法
I-1 (潜伏期)	表面処理
I-2 (進展期)	表面処理, 断面修復, 電気防食, 電気化学的脱塩
II-1 (加速期前期)	表面処理, 断面修復, 電気防食, 電気化学的脱塩
II-2 (加速期後期)	断面修復
III (劣化期)	FRP接着, 断面修復, 外ケーブル, 巻立て, 増厚

コンクリート構造物の維持管理技術の課題

まずは,

構造物の保有性能を定量的に評価するための「非破壊評価技術」の確立

次に,

構造物の保有性能の変化を定量的に評価するための「劣化予測技術」の確立

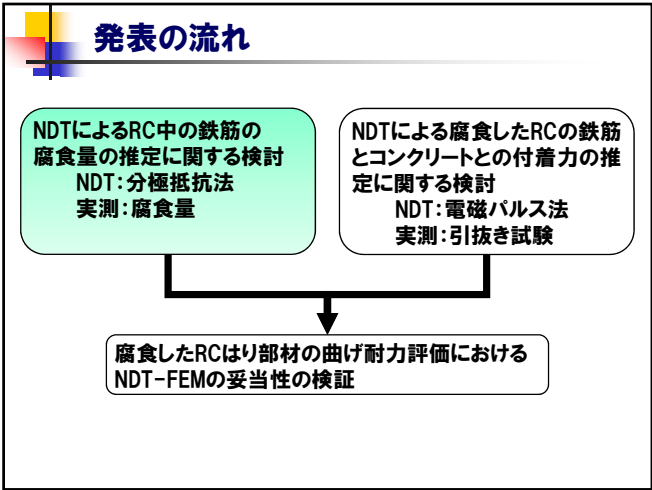
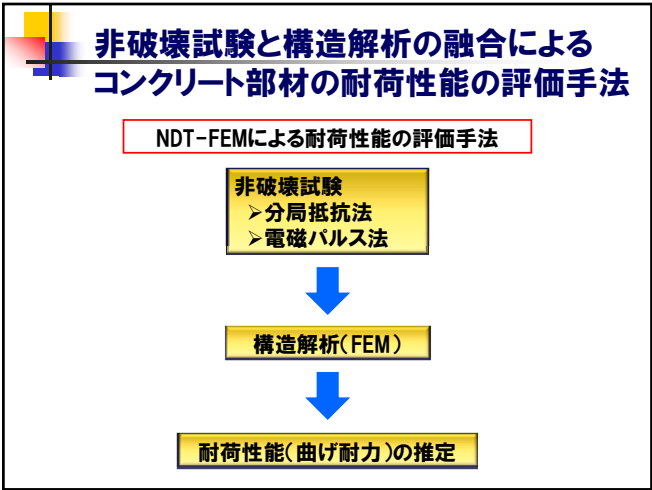
目的

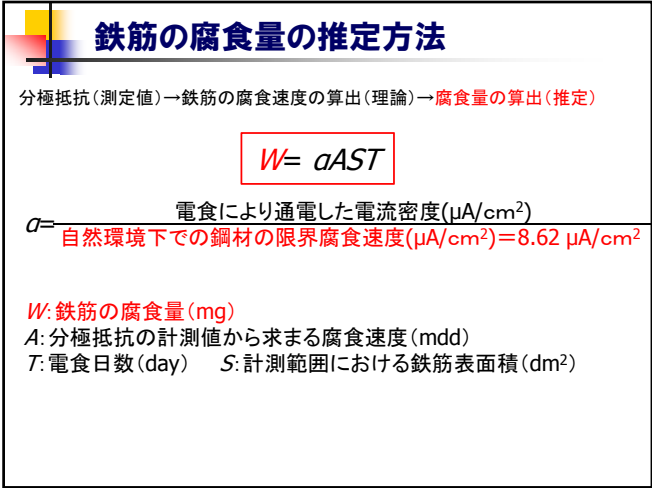
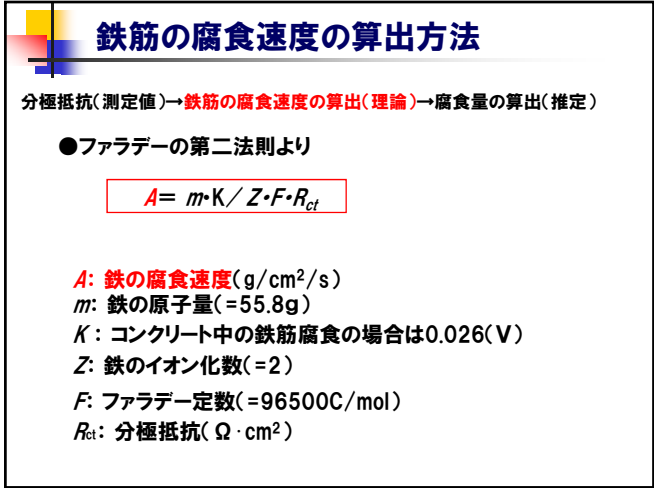
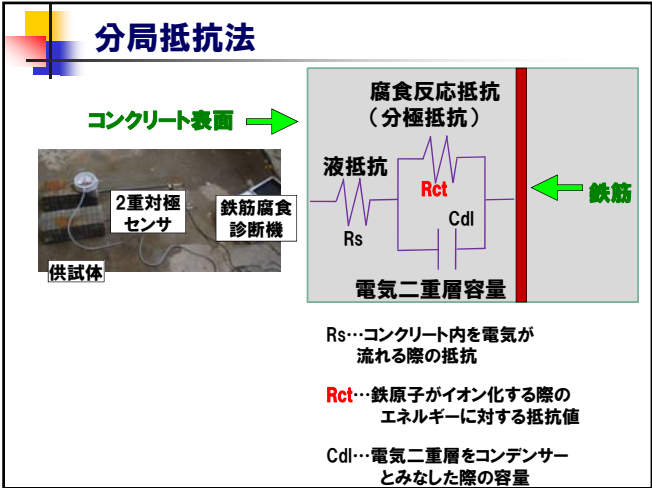
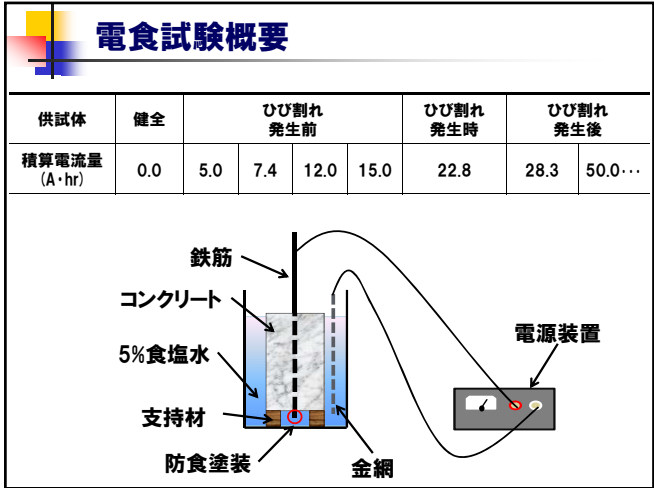
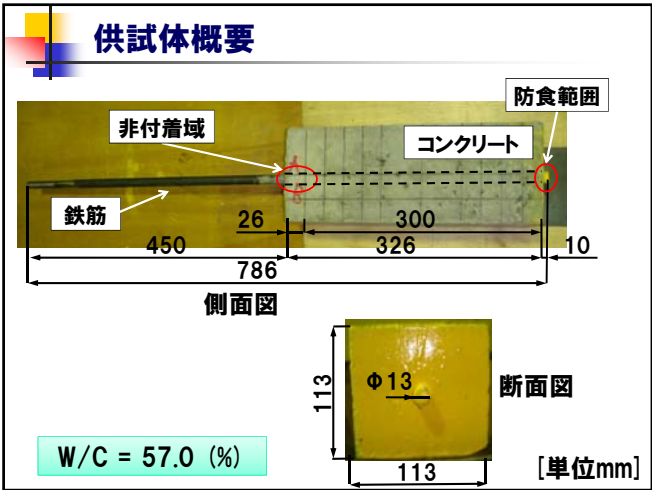
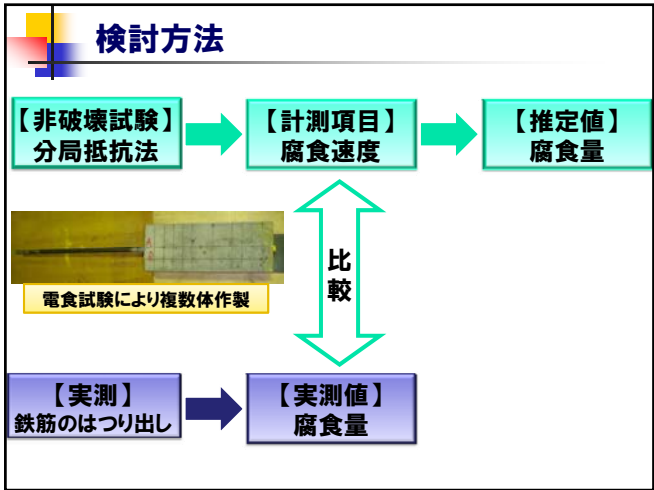
鉄筋腐食の生じたRCはりを対象として、非破壊試験(NDT)から

- ①鉄筋の腐食量
- ②鉄筋とコンクリートとの付着力

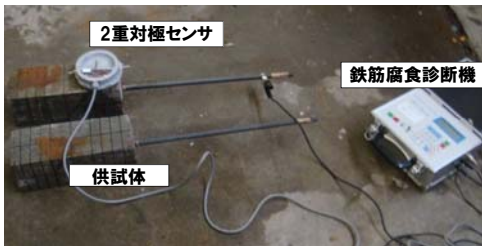
を把握するための推定式をそれぞれ算出し、

これらの式に基づいて作成したモデルを対象に構造解析(FEM)を実施する(NDT-FEMの融合)ことにより、塩害を受けるコンクリート部材の耐荷性能を評価する手法を開発することを本研究の目的とした。





分局抵抗法による計測状況

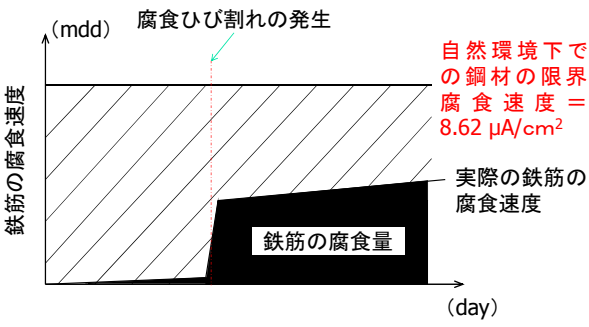


測定結果

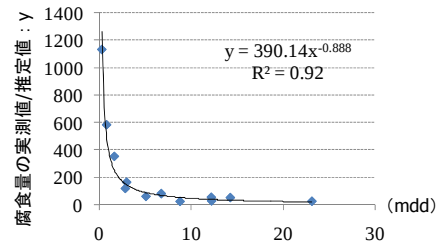
既往の研究に基づいて推定した鉄筋の腐食量
 $W = \alpha AST$

供試体	ひび割れ発生前				ひび割れ発生時	ひび割れ発生後					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
実測値推定値	31.25	16.36	1.83	3.48	0.78	4.04	0.90	0.70	0.87	6.79	1.60
実測の腐食量 (mg)	2032.8	4390.8	5366.5	7074.1	7643.2	17075.3	14636.0	15449.1	27645.7	30898.2	54478.4
推定した腐食量 (mg)	65.0	268.3	2927.2	2032.8	9757.3	4228.2	16262.2	21954.0	31711.3	4553.4	34150.6

腐食速度および腐食量の経時変化



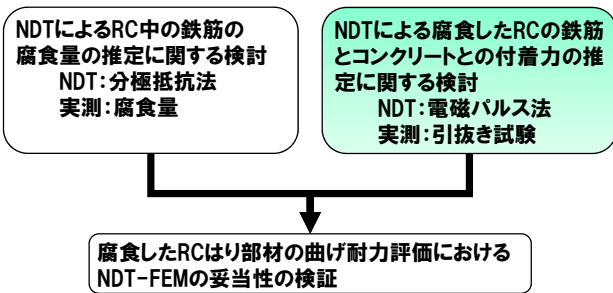
鉄筋の腐食速度から腐食量を推定するための実験回帰式



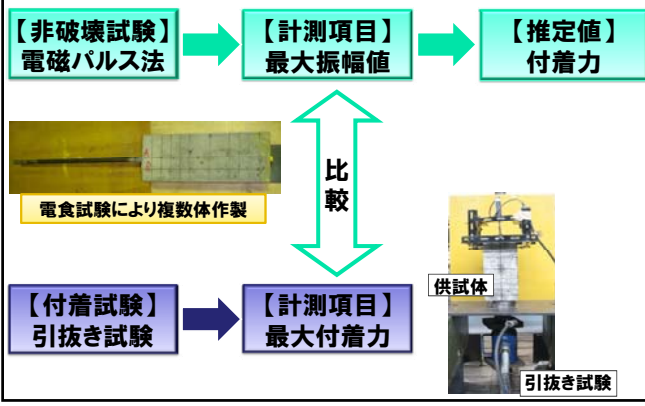
$W = 390.14A^{0.888}ST$

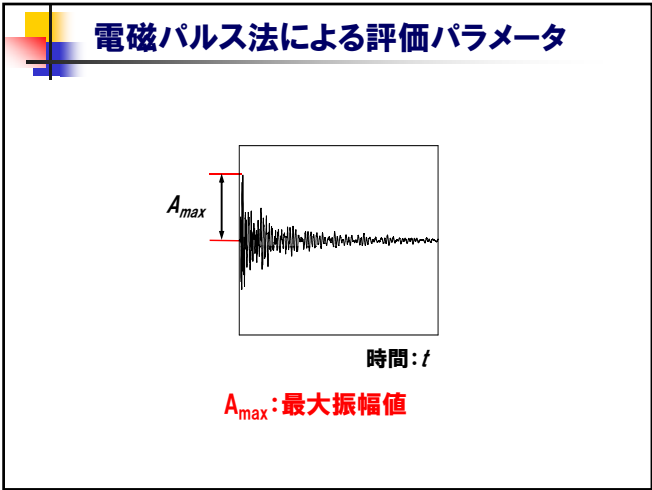
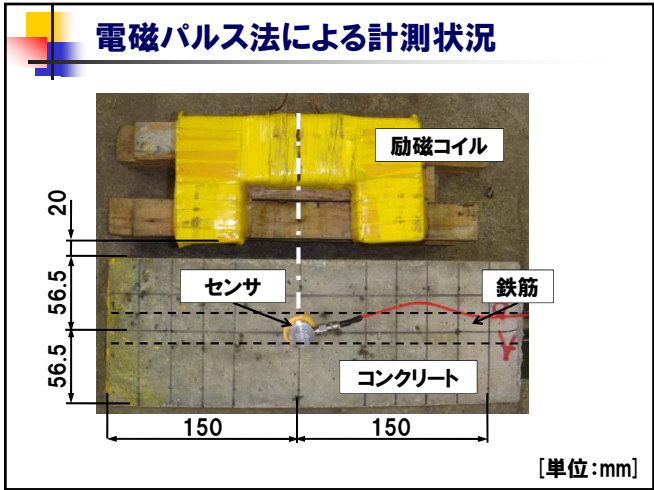
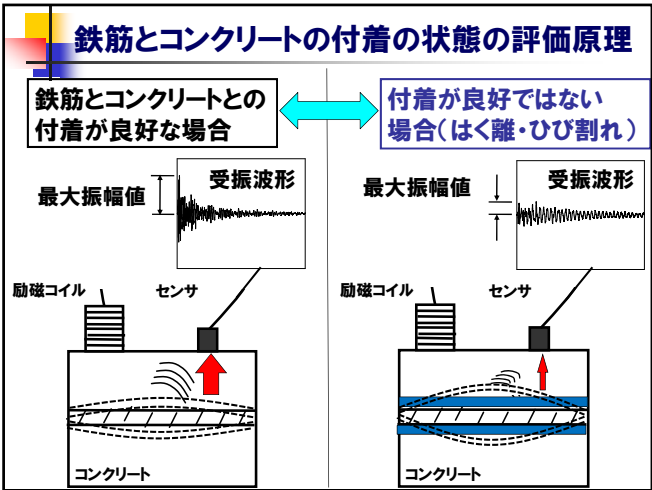
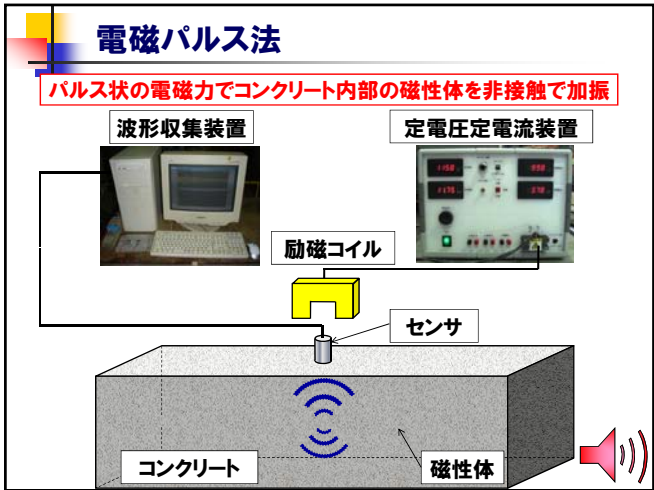
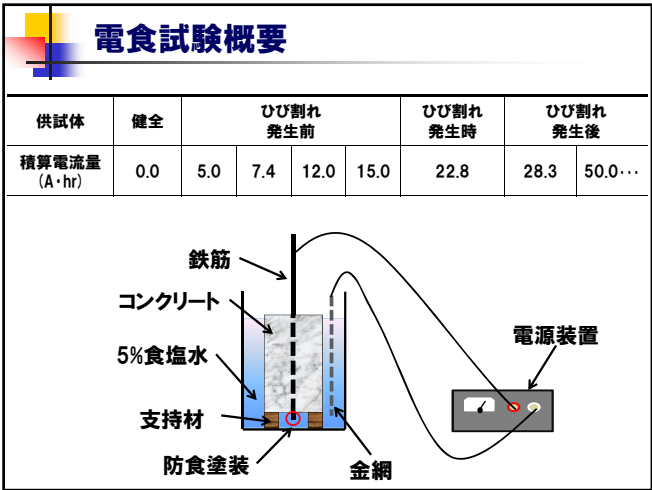
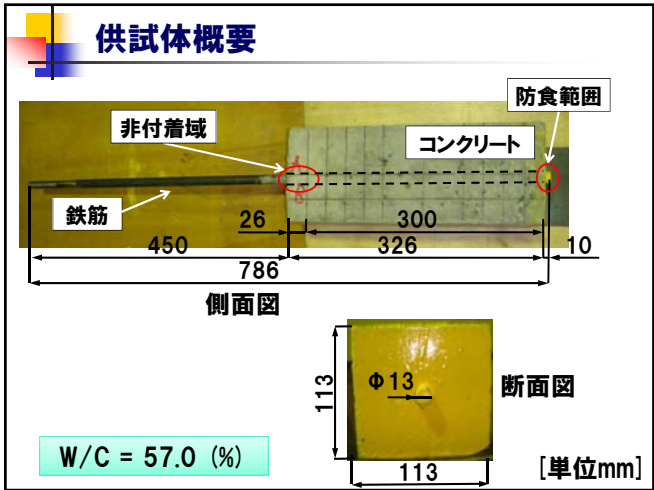
W: 鉄筋の腐食量 (mg) A: 分極抵抗の計測値から求まる腐食速度 (mdd)
T: 電食日数 (day) S: 計測範囲における表面積 (dm²)

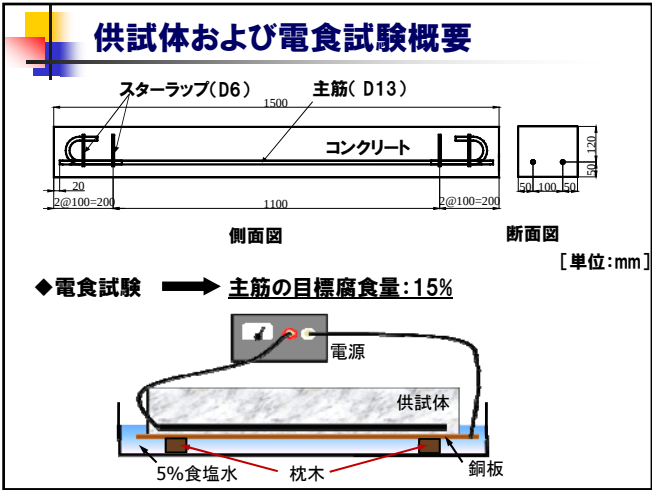
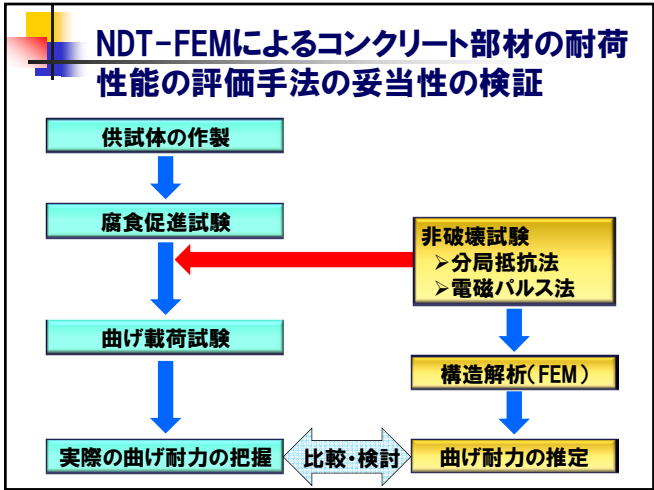
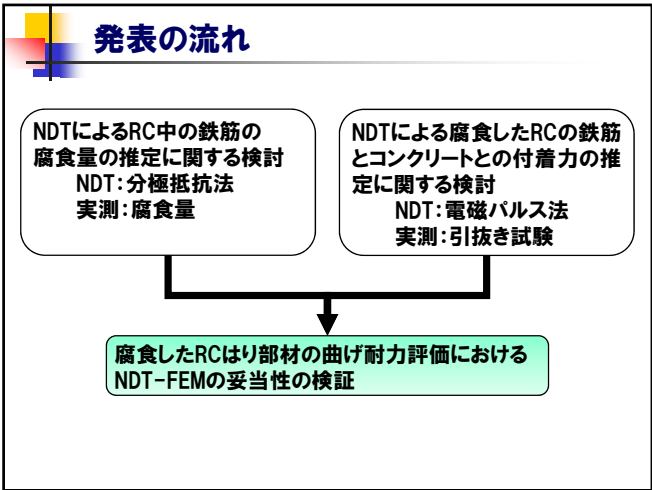
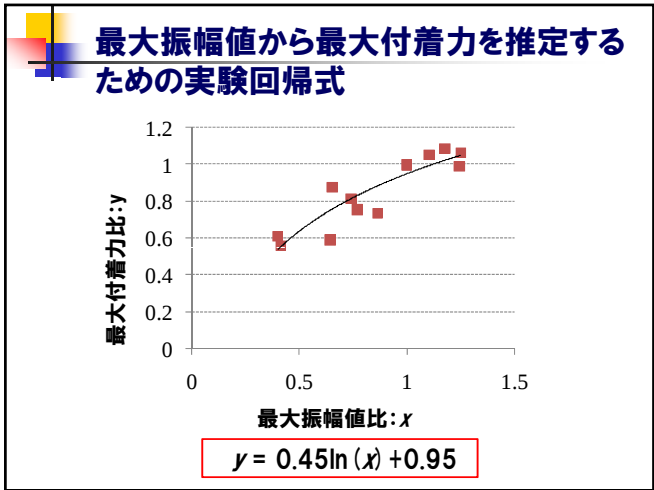
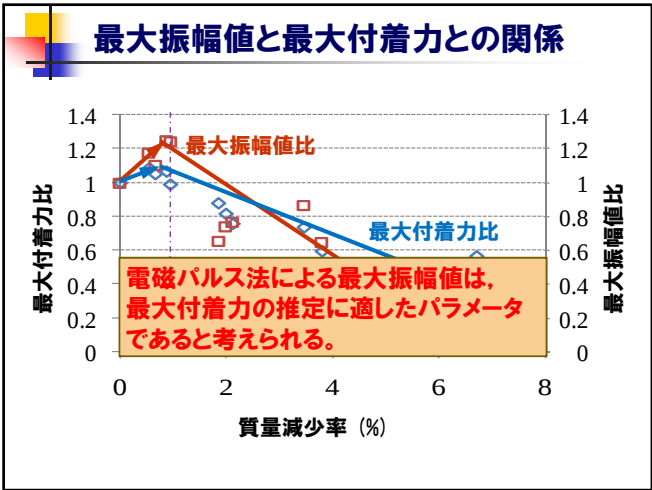
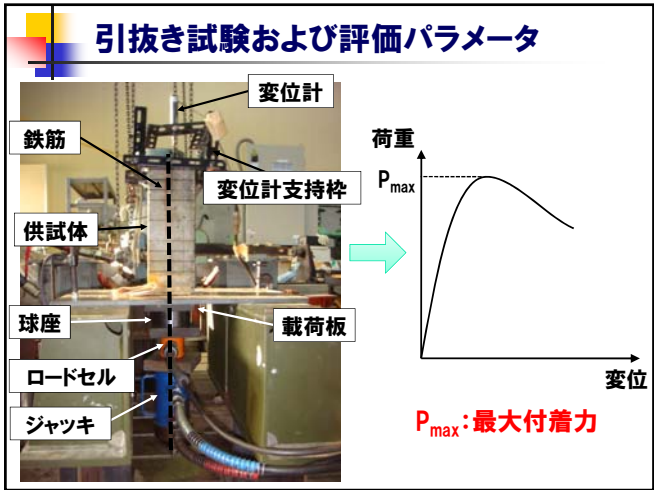
発表の流れ



検討方法







ひび割れ発生状況および非破壊試験

◆ 供試体の劣化状況

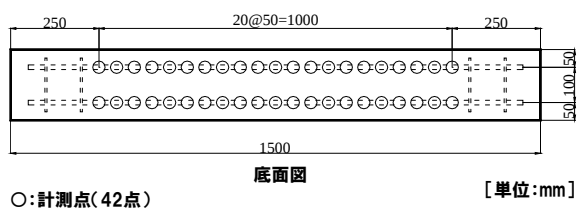


◆ NDT

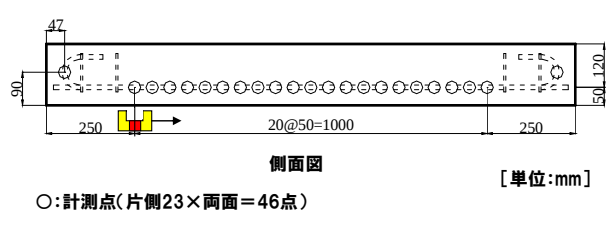
- 腐食速度(分極抵抗法)
⇒ 鉄筋の腐食量
- 最大振幅値(電磁パルス法)
⇒ 鉄筋とコンクリートとの付着力



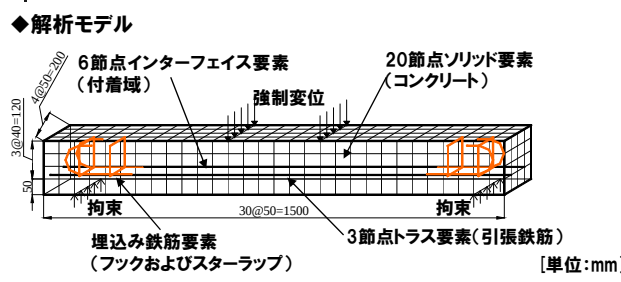
分極抵抗法による計測点



電磁パルス法による計測点

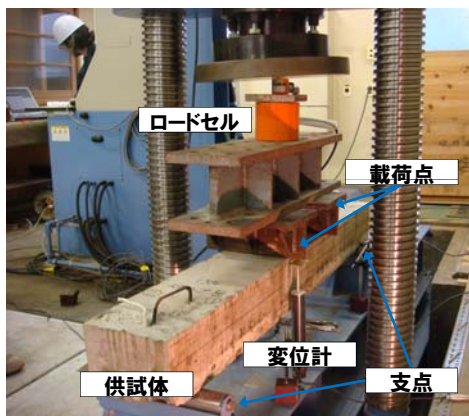


FEM概要

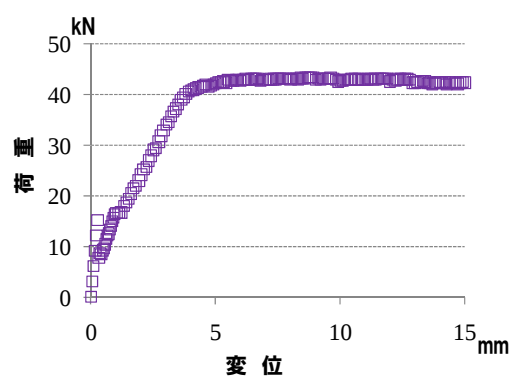


- ◆ NDTの反映方法
- ✓ 分極抵抗法 ⇒ 鉄筋の断面積を減少
 - ✓ 電磁パルス法 ⇒ 最大付着力を低減

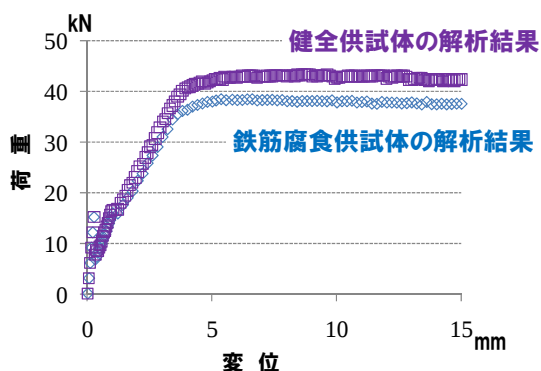
曲げ載荷試験



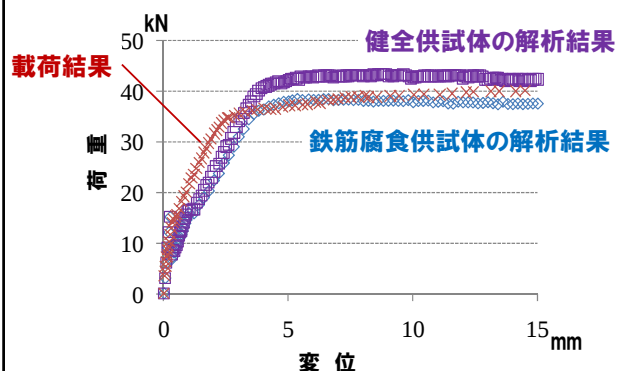
健全供試体の曲げ耐力の推定結果



解析による曲げ耐力の推定結果



曲げ耐力の推定結果の検証



まとめ

1. 分極抵抗法による計測結果に基づき、鉄筋の腐食量の推定式を定義した。
2. 電磁パルス法の計測結果から、鉄筋とコンクリートとの付着力を推定可能な算出式を提案した。
3. RCはりに腐食ひび割れが発生した以降において、分極抵抗法および電磁パルス法の計測に基づくNDT-FEMを行った場合、RCはりの曲げ耐力を概ね把握できることが明らかとなった。

コンクリート構造物の維持管理技術の課題

まずは、

構造物の保有性能を定量的に評価するための
「非破壊評価技術」の確立

次に、

構造物の保有性能の変化を定量的に
評価するための「劣化予測技術」の確立

これからの維持管理のあるべき方向性

第一世代: 目視による非破壊試験(これまでの状況)

➢ グレーディングにより劣化状態を間接的に評価する方法

第二世代: 構造解析と非破壊試験を併用する方法
(現状の研究レベル)

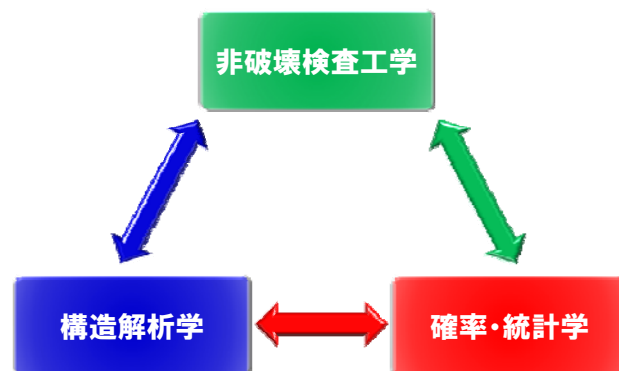
➢ 部材が現在保有する性能(例えば、曲げ耐力など)を直接的に評価することが可能な方法

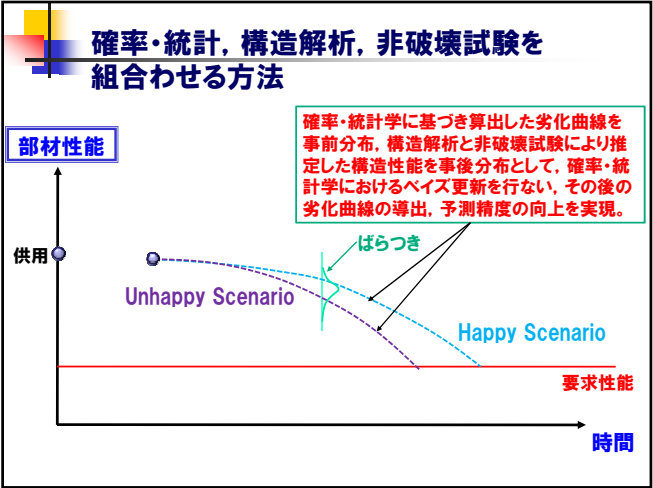
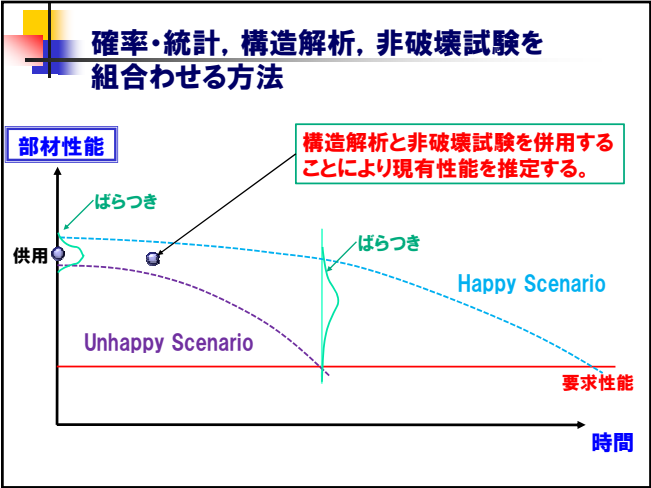
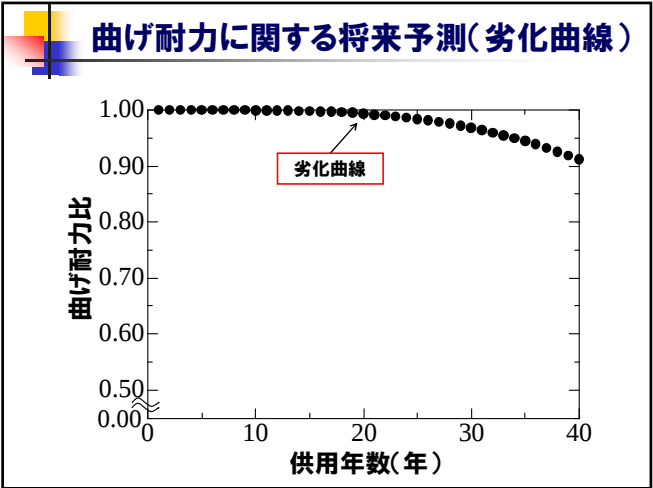
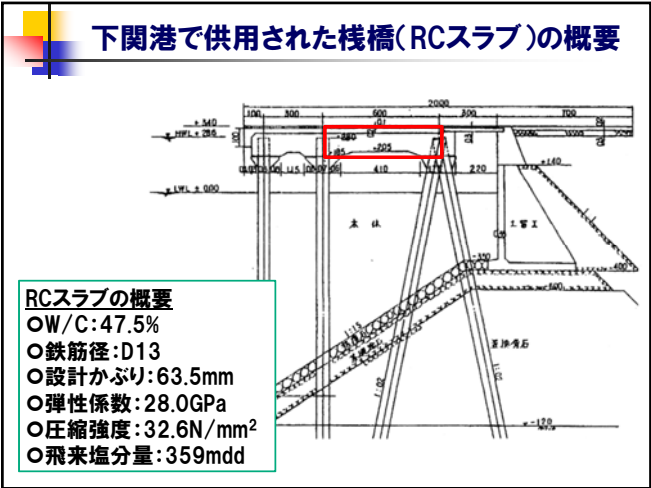
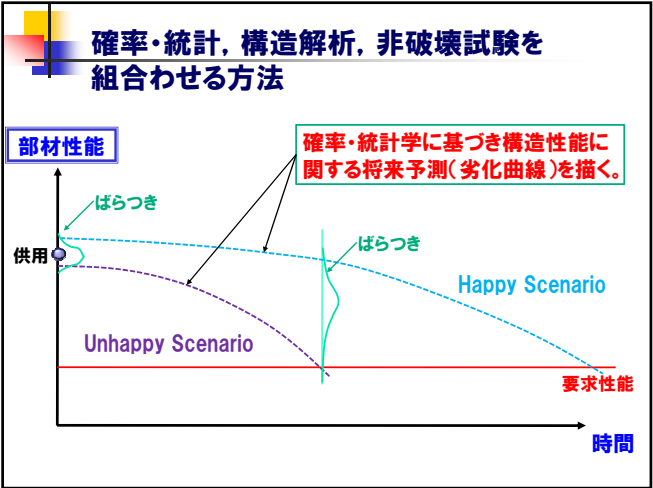
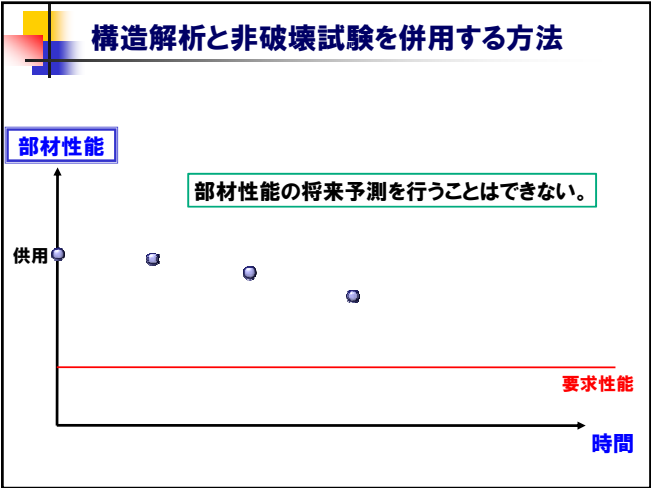
第三世代: 確率・統計、解析、非破壊試験を組み合わせる方法
(将来あるべき方向性)

➢ 部材性能の低下を予測することが可能な方法

➢ 部材性能の予測を精度よく行なうことが可能な方法

これからの維持管理のあるべき方向性





塩害を受ける鉄筋コンクリート部材における経時的な曲げ耐力の低下を**定量的**に把握すること（劣化予測）ができれば、

1. 対象とする部材での適切な点検間隔や補修時期を事前に決定することが可能
2. ライフサイクルコストの最小化や平準化
3. アカウンタビリティの向上