

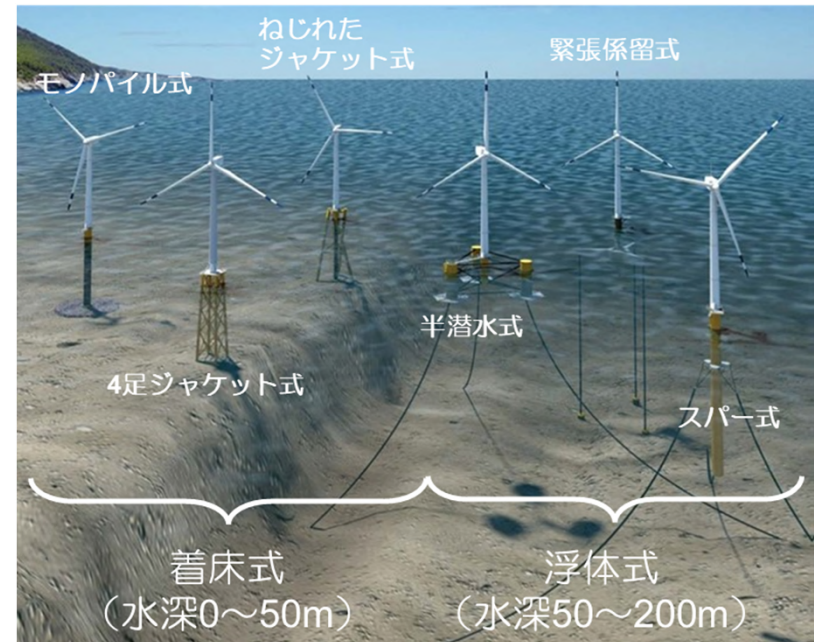
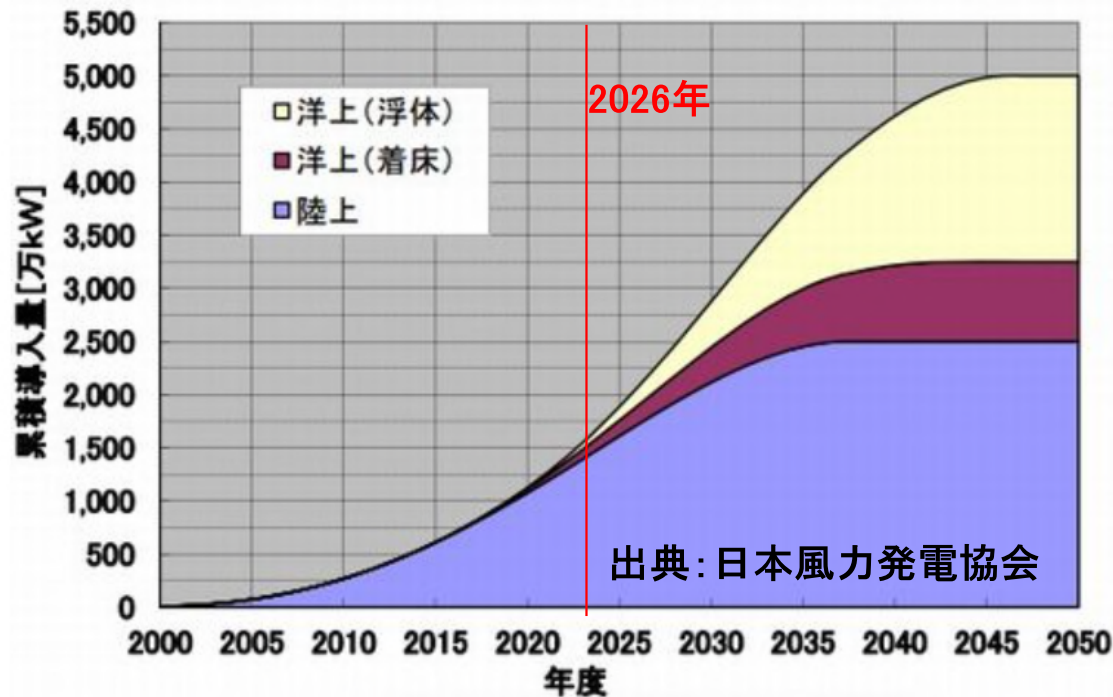
2026年7月17日 SCOPE研究開発助成成果報告会

接合部を有するPRC部材の数値解析 手法による分析

准教授・小松怜史

はじめに（研究の背景・目的）

■ 研究対象：



出典：NREL：2014-2015 Offshore Wind Technologies Market Report, 2015

- ・安定的な価格で日本国内で調達が容易なコンクリートによる浮体を検討.
- ・経済性・耐久性・施工性の観点から高強度コンクリートでの躯体構築は有力
- ・主な作用と考えられるコンクリート浮体の疲労挙動が未解明.

■ 未解明となっている主な理由

- ・載荷周波数が小さい(0.1Hz程度)・・・実験が長くなる
- ・高強度で疲労が作用する例が少・・・道路橋床版等での検討が主

■コンクリート標準示方書【設計編】

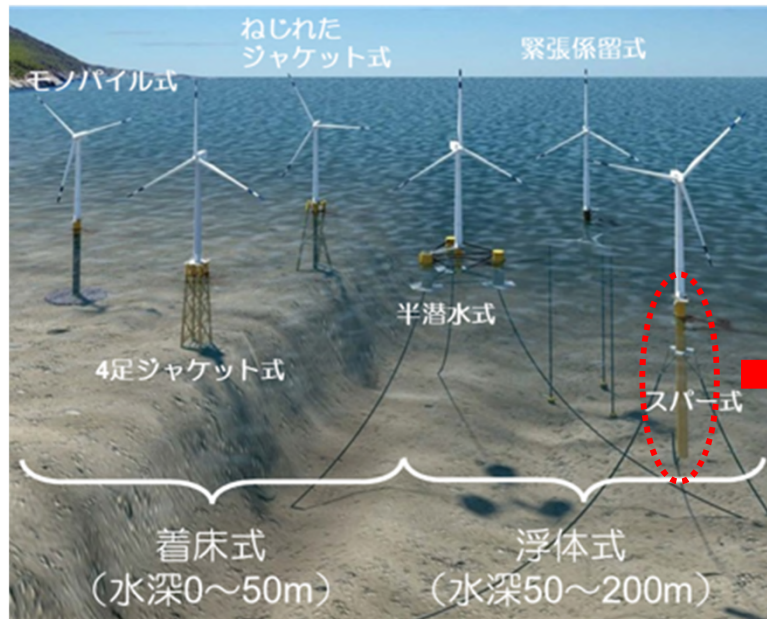
$$f_{rd} = k_{1f} f_d \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d} \right) \left(1 - \frac{\log N}{K} \right)$$

f_{rd} :設計疲労強度, N :疲労寿命($\leq 2 \times 10^6$), σ_p :永続作用による応力度, f_d :
コンクリートの設計強度, K :水中では10, その他一般は17,
 k_{1f} :圧縮及び曲げ圧縮は0.85, 引張及び曲げ引張は1.0

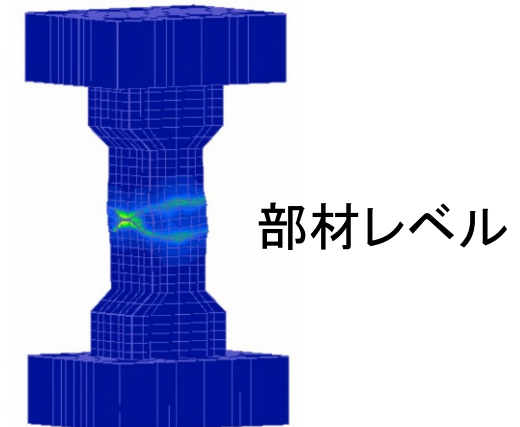
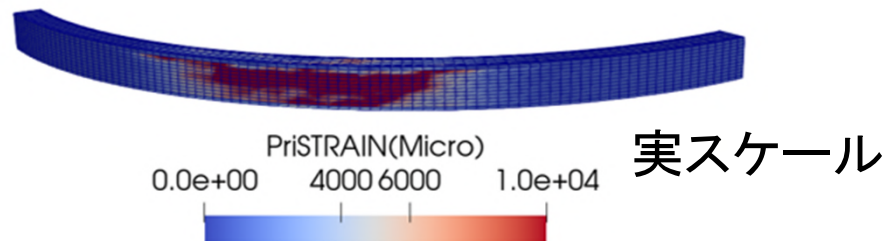
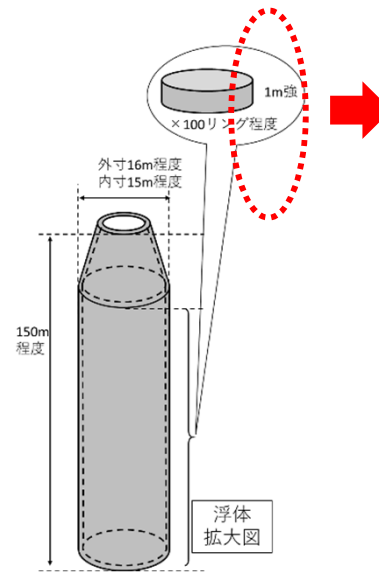
[解説]

(中略)また, コンクリートの設計強度が 50N/mm^2 を超える場合については十分なデータがないため, 適用範囲は 50N/mm^2 以下とする。(以後省略)

一軸圧縮応力下における高強度コンクリートの疲労破壊挙動



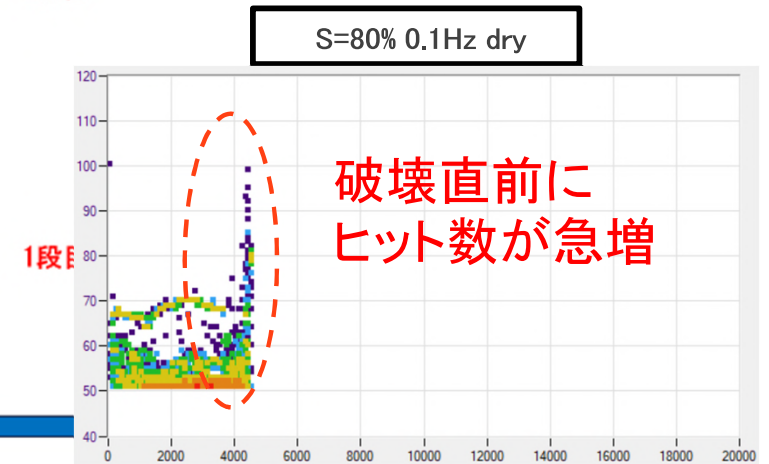
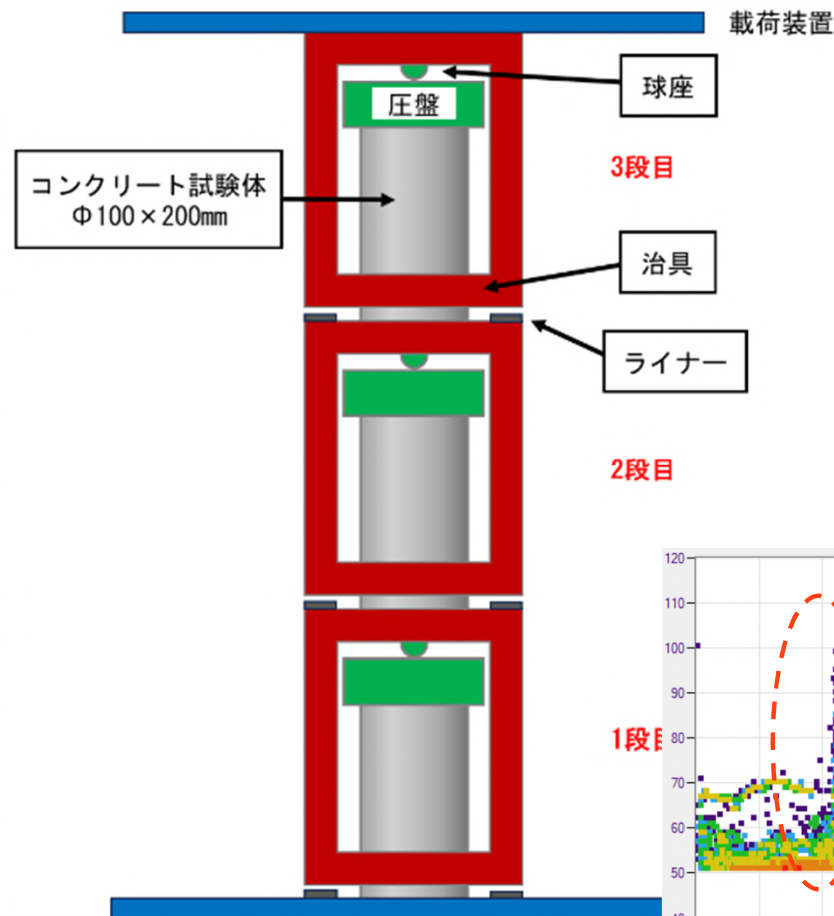
洋上風力発電の種類



一軸圧縮応力状態

・ テストピースレベルでの疲労载荷実験

AE法疲労



コンクリート疲労試験载荷治具、コンクリート疲労試験装置及びコンクリート疲労試験方法
(特願2022-162517)

実際のコンクリート製浮体には圧縮応力だけでなく、様々な応力状態が想定される。

■研究の目的



部材にせん断力が作用するときの破壊挙動について明らかにする。

■研究の流れ

・プレキャスト接合部を模擬した縮小部分模型試験体の載荷実験(水中／気中、静的)・・・昨年度

・数値シミュレーションによる挙動解析・・・本年度(気中のみ)

➡現象解明、設計時(モデル化)の留意点の把握

試験体の製作

■コンクリートの配合

%			kg/m3				
W/C	s/a	Air	C	W	Ad	S1	S2
40.0	47.9	2.0	438	175	3.94	407	409



■コンクリートの強度特性

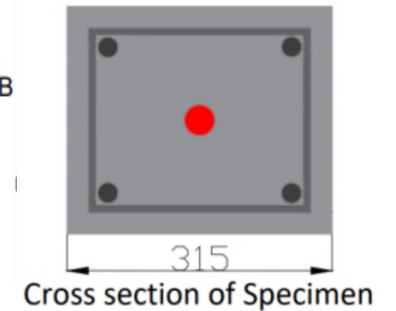
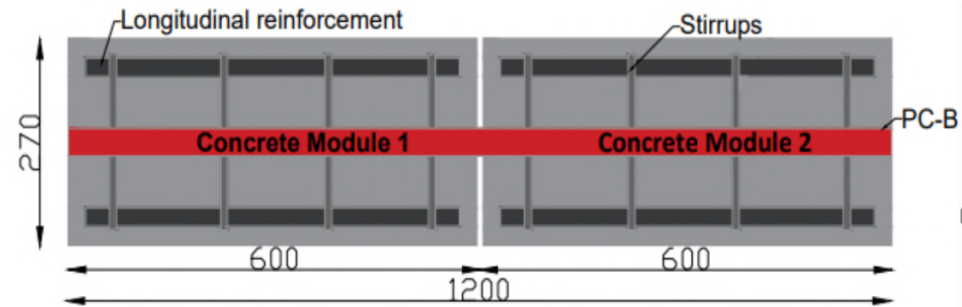
Conditions	Compressive Strength (MPa)	Shear Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Poisson's Ratio
Air	55.6	16.6	3.99	0.19
Submerged in Water for 3 days	59.8	15.9	4.45	0.33

■グラウトの特性

Item	Temperature Range (0C)	Target Consistency (JP Flow Time, Sec)	Water to Material Ratio (%)	Pre-mix AD
Per m ³	5-35	3.5-6	36% at 20 °C	1458 kg

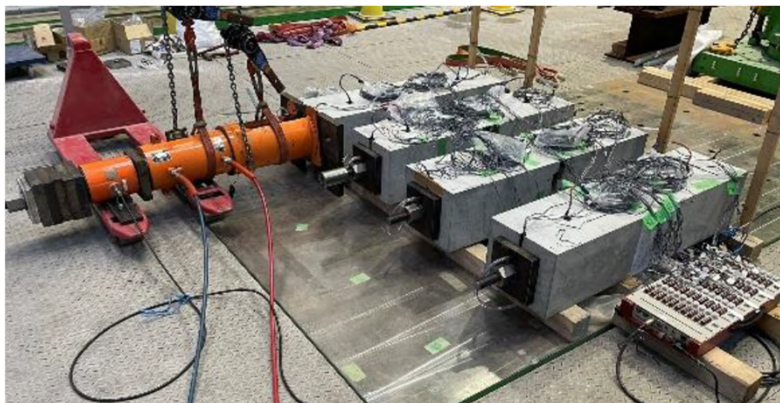


載荷準備

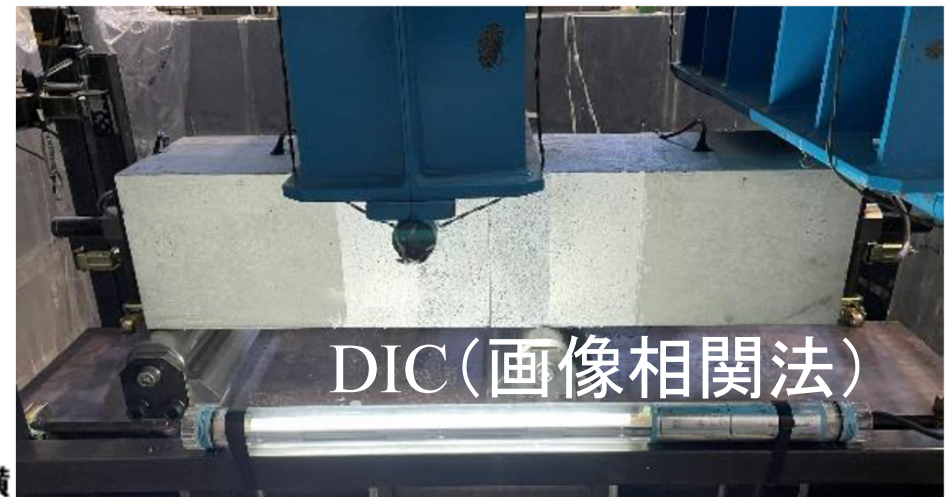


コンクリート強度の約20%に相当する有効プレストレス(900 kN)が施され、その後、PC鋼棒を囲むシース内にグラウトを注入した。

■ 緊張作業



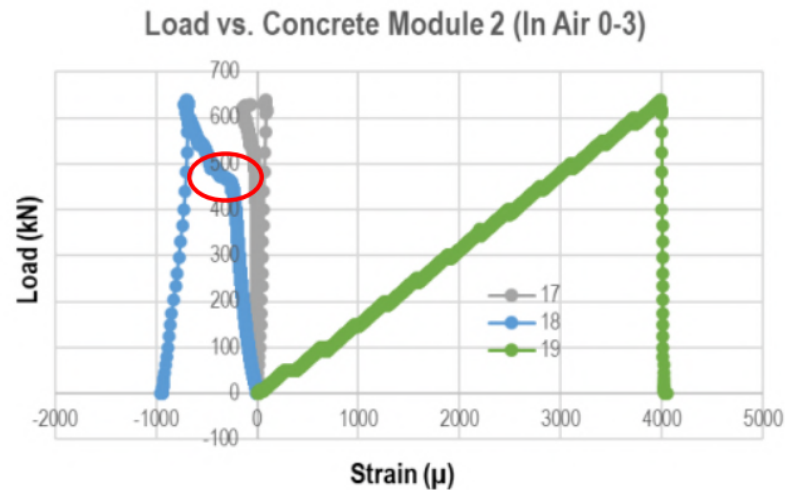
■ 気中載荷の様子



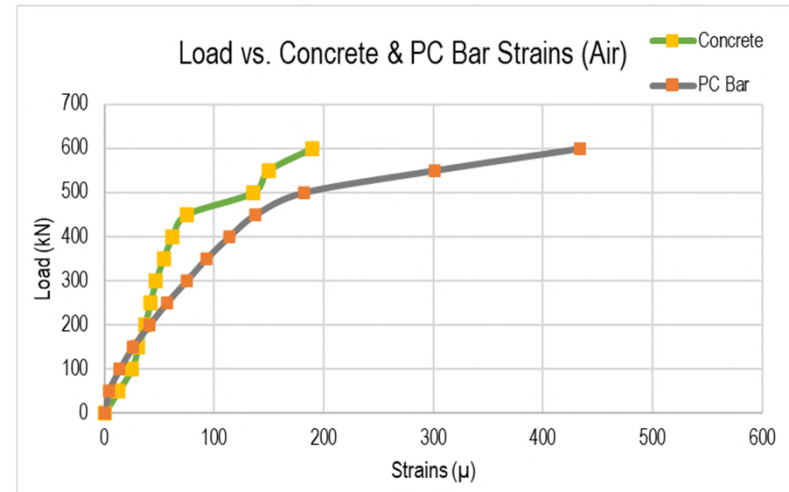
DIC(画像相関法)

載荷の結果

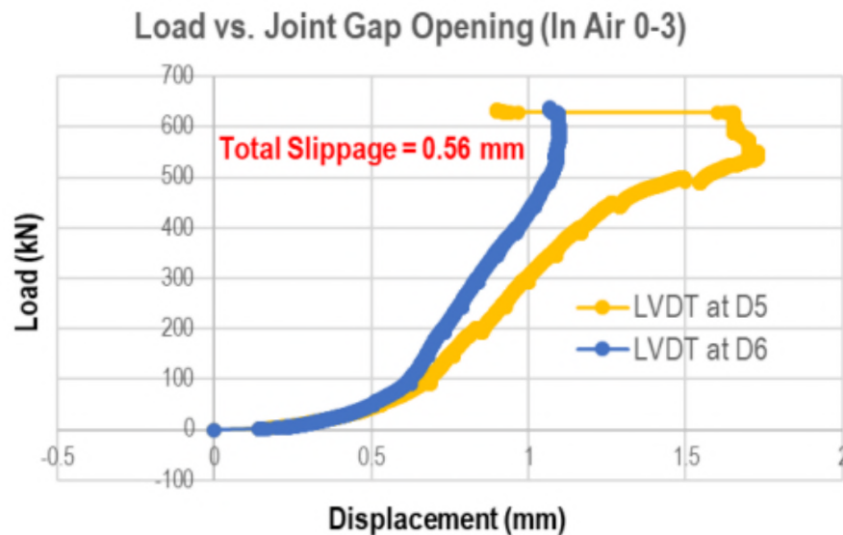
■コンクリートのひずみ



■コンクリートとPC鋼棒のひずみ



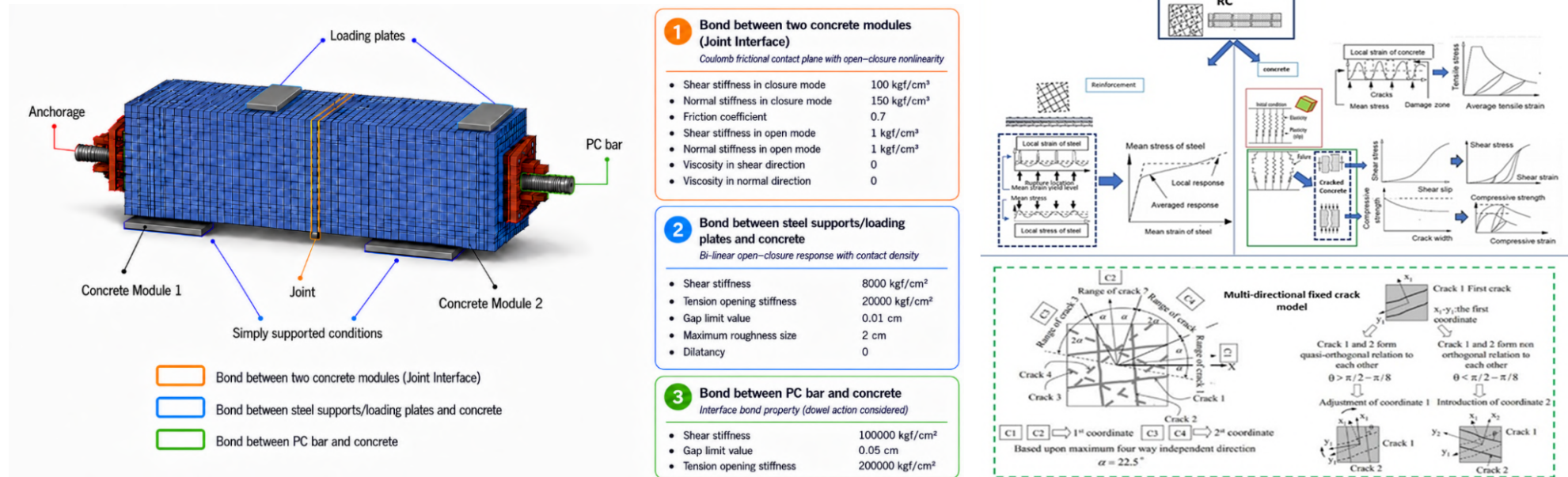
■接合部のずれ変位



■載荷後の損傷の様子



解析モデルの概要

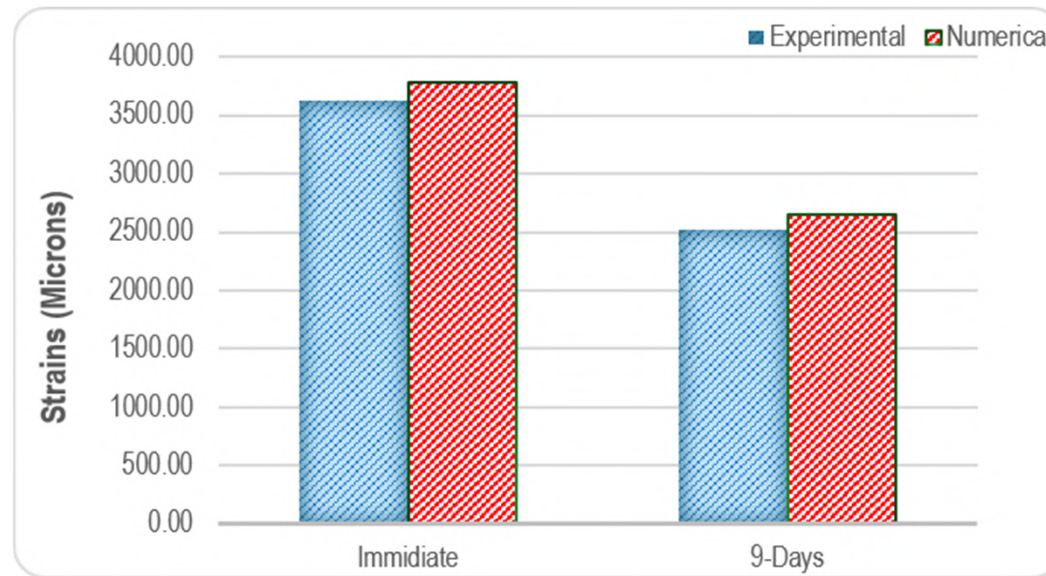
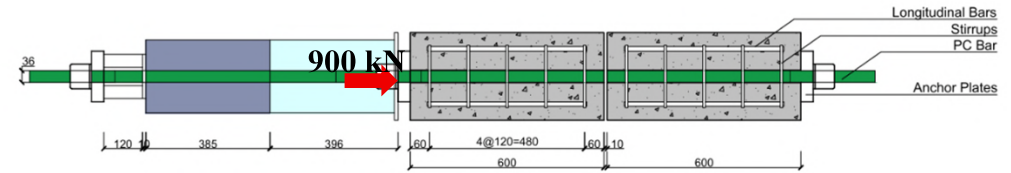


- 使用ソフト: COM3 (材料非線形有限要素法構造解析ツール)
- 要素寸法は概ね 10～50 mm の範囲
- RC要素: 三次元ソリッド要素、多方向非直交固定ひび割れモデル
- PC鋼棒: 弾性要素＋線要素
- BOND要素: 試験体接合面、プレートと試験体間、PC鋼棒と試験体間
- 入力物性値: コンクリート、鋼材、グラウトは実測値
- その他: 時間依存変形モデル

解析結果①

- フェーズ1 (プレストレスの導入～載荷直前)

■ PC鋼棒のひずみの経時変化



■プレストレス導入直後:

実験・・・約3623 μ
解析・・・約3769 μ (約4%の差)



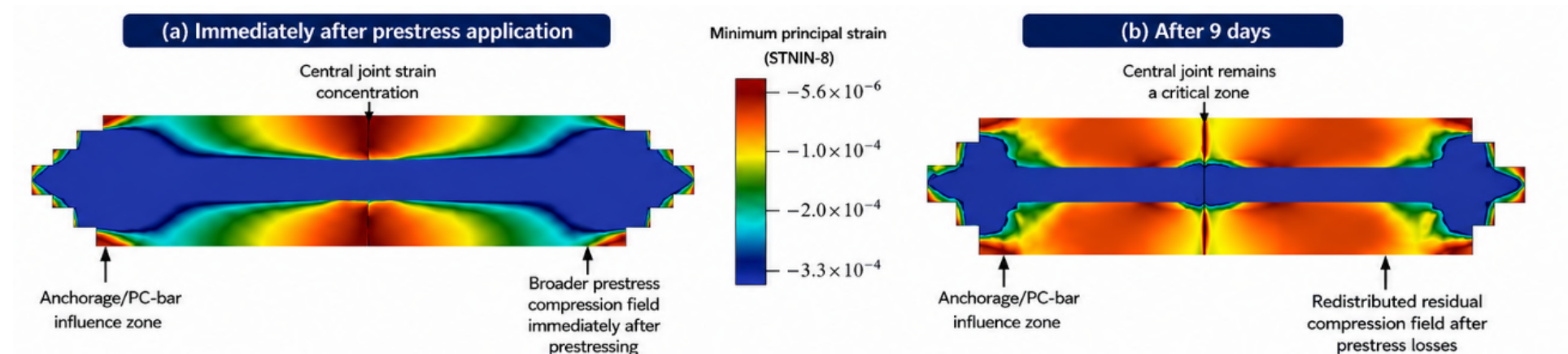
■せん断載荷開始前の約9日間の保持期間:

実験・・・約2517 μ
解析・・・約2650 μ (約5%の差)

解析結果②

- フェーズ1 (プレストレスの導入～載荷直前)

■ 最小主ひずみ分布



☑プレストレス導入直後:

- PC鋼棒の荷重伝達経路および定着部近傍に圧縮ひずみが集中
- 中央接合部では、PC鋼棒、定着部および接合面を介してプレストレス力が伝達されるため、局所的なひずみ集中

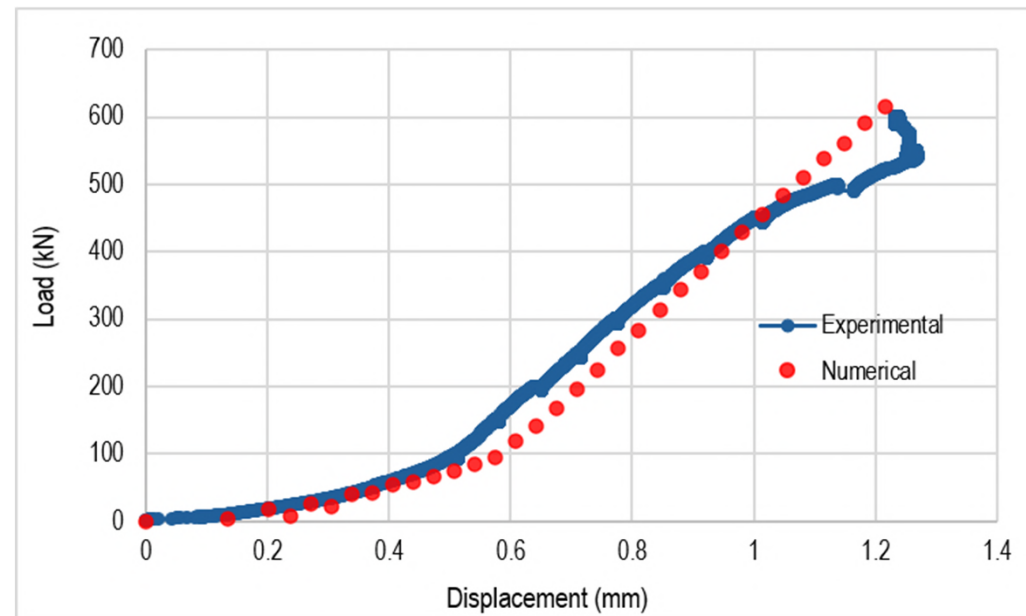
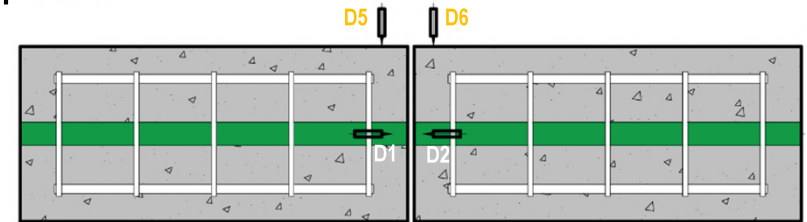
☑9日経過後:

- 圧縮ひずみ分布は導入直後に比べて圧縮ひずみが広く分布
- PC鋼棒軸方向、中央接合部および定着部近傍には圧縮ひずみが残存しており、せん断載荷開始直前においても有効なプレストレスが保持されている

解析結果③

- フェーズ2(静的せん断実験の再現解析)

- 荷重－せん断ずれ変位関係

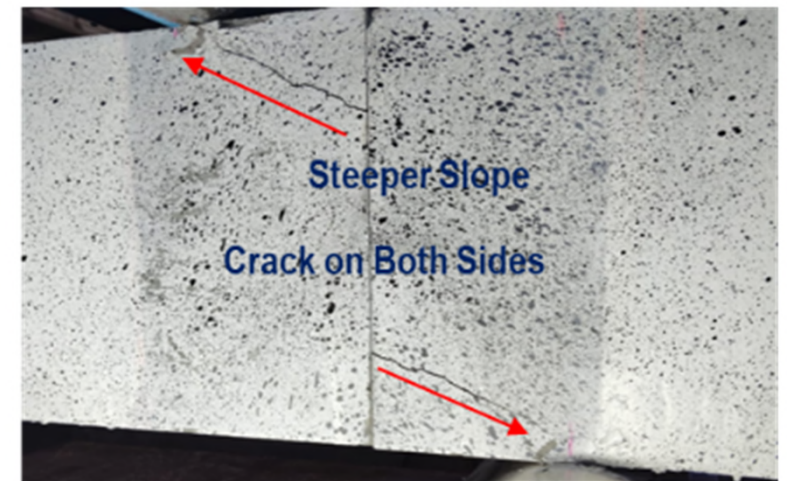
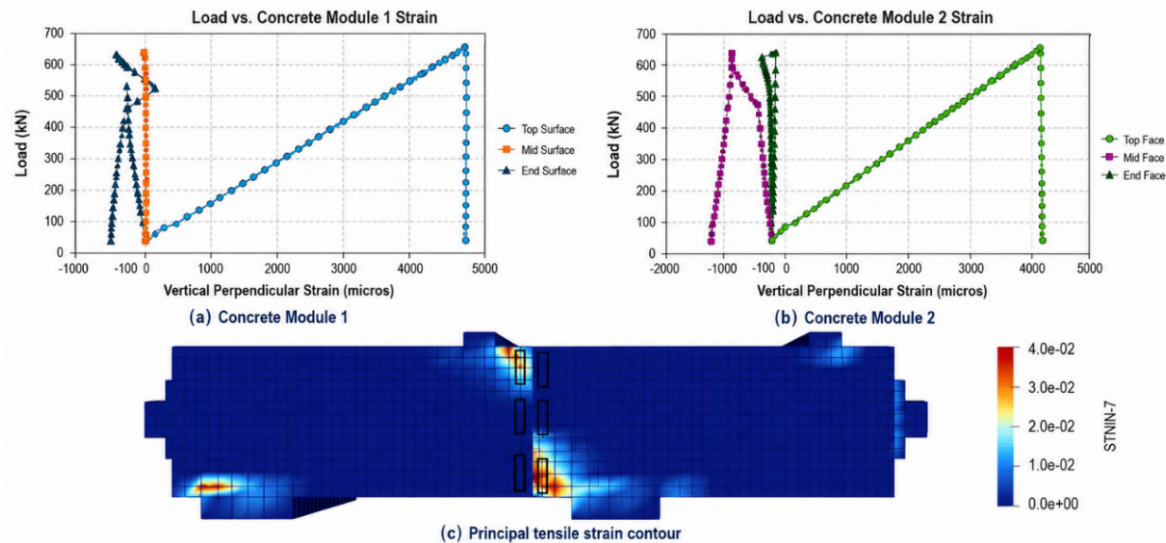


PC鋼棒を明示的にモデル化し、プレストレスラインを併用したモデルでは、破壊モードはより現実的になった。

解析結果④

- フェーズ2(静的せん断実験の再現解析)

- コンクリートひずみ分布、試験体の破壊状況

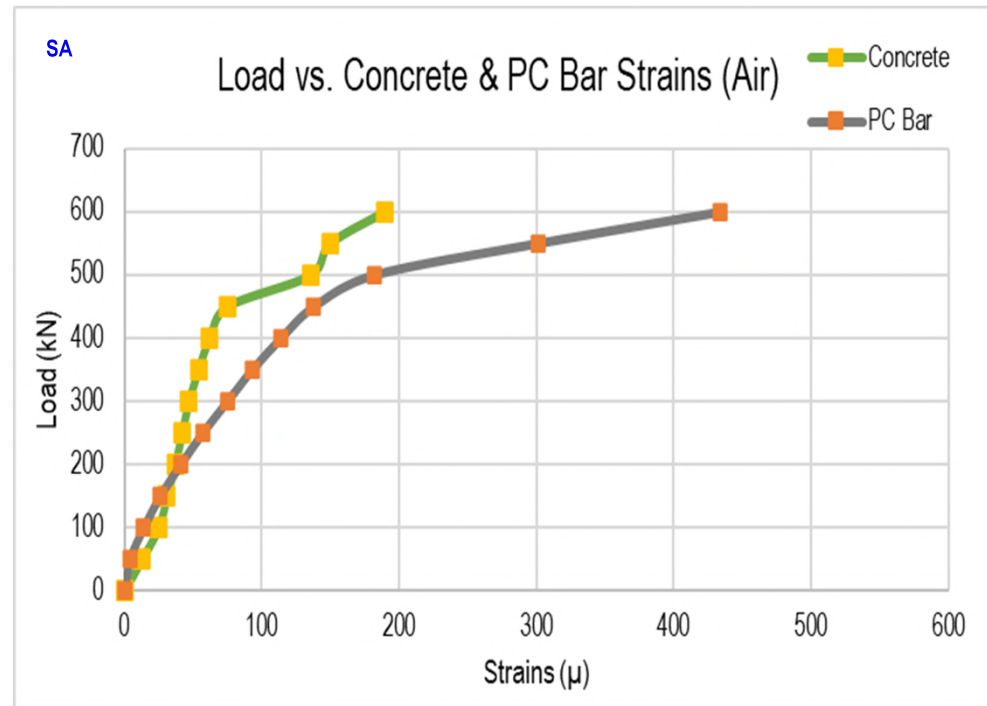
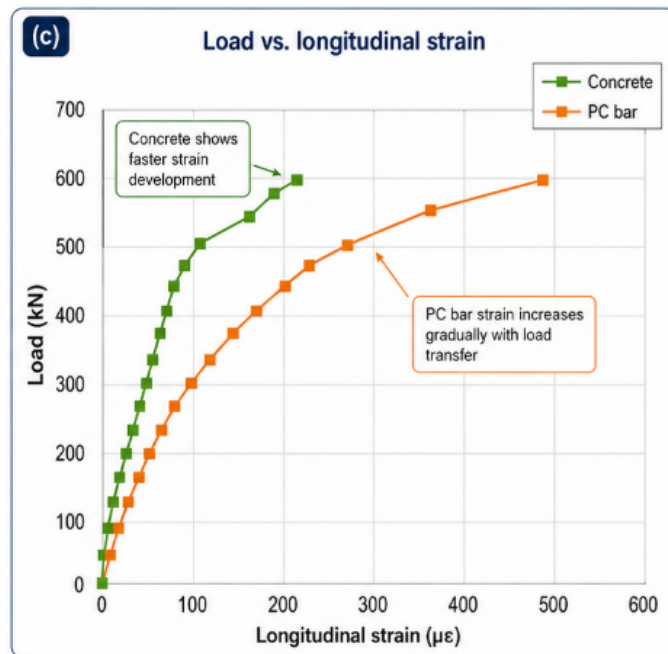


解析モデルもこの定性的なひずみ分布を再現しており、接合部の回転挙動および荷重伝達経路を概ね適切に表現できていると評価されている。

解析結果⑤

- フェーズ2(静的せん断実験の再現解析)

■PC鋼棒とコンクリートの剥離・付着挙動



実験では、対象位置においてコンクリートひずみが約 $190\ \mu\epsilon$ 、PC鋼棒ひずみが約 $430\ \mu\epsilon$ であり、解析でも同程度のひずみが得られている。

まとめ

本研究では、浮体式洋上風力発電用コンクリート浮体のモジュール接合部を対象に、プレストレスを導入した平面接合部のせん断挙動を解析的に検討した。昨年度に行った、気中における静的せん断載荷試験に対して、COM3による非線形有限要素解析を用いた適用性検証ならびに破壊挙動の分析を行った。以下に、得られた主な成果を示す。

- ひずみの経時変化を定量的に評価できた。
- 荷重反力—ずれ変位関係, ひずみ分布・破壊性状, PC鋼棒とコンクリートのひずみ差について、解析モデルが実験挙動を概ね説明できることが示された。

➡**洋上構造物の設計において、構造解析を利用した設計の可能性**が示された。

■今後の課題

- ・接合部を有する試験体に対して**水中でのせん断疲労実験**の再現解析
- ・**繰り返し荷重**を想定した動的荷重下での接合部のせん断疲労実験の再現解析
- ・小規模構造から**大規模構造**への展開

ご清聴ありがとうございました

