

2025年7月11日 SCOPE研究開発助成成果報告会

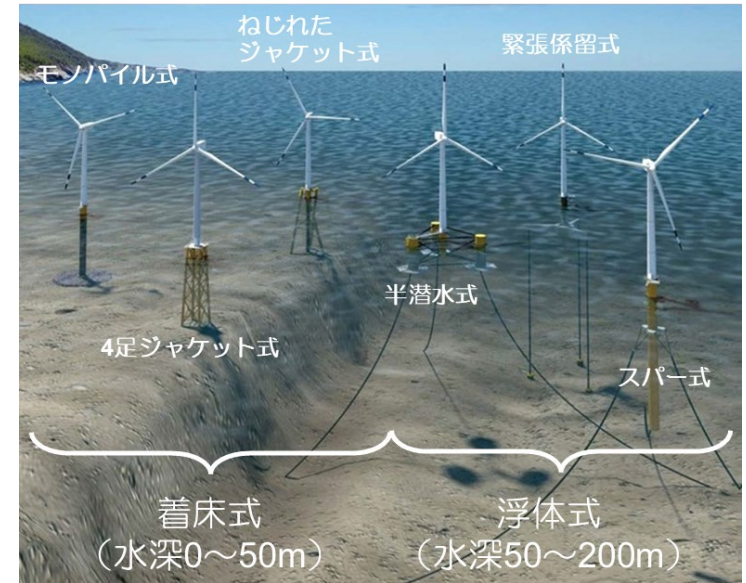
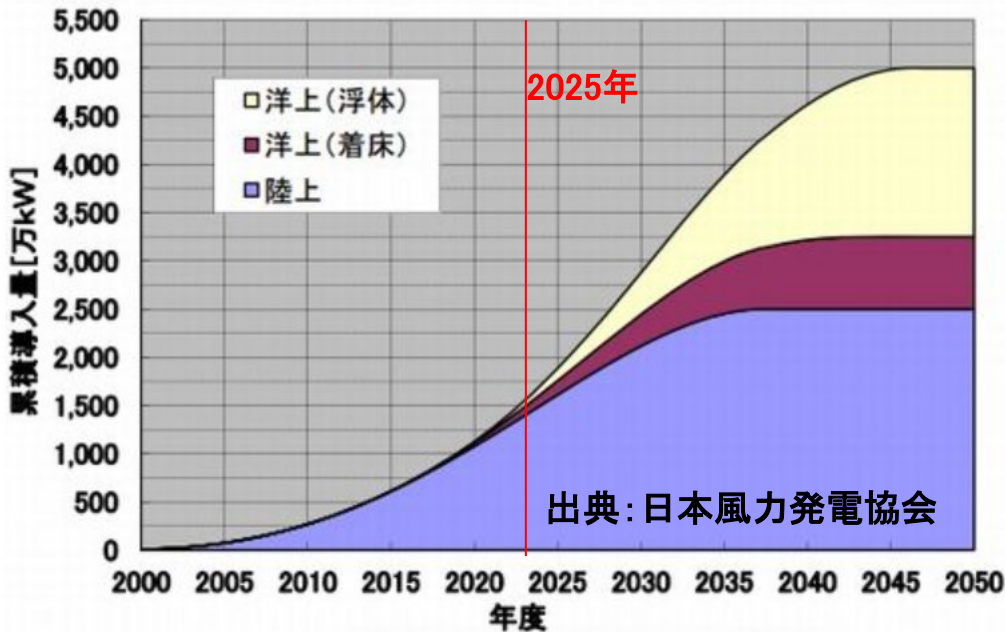
接合部を有するPRC部材の水中の 曲げ疲労破壊挙動の解明

准教授・小松怜史

YNU 横浜国立大学
YOKOHAMA National University

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】

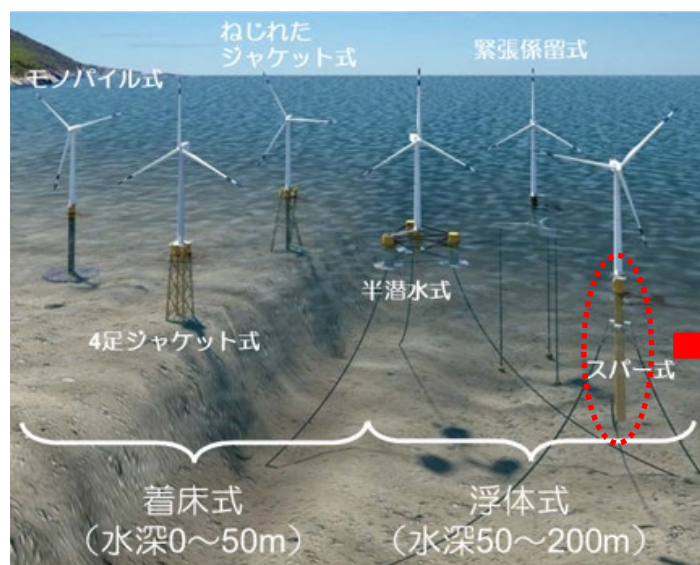
$$f_{rd} = k_{1f} f_d \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d} \right) \left(1 - \frac{\log N}{K} \right)$$

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

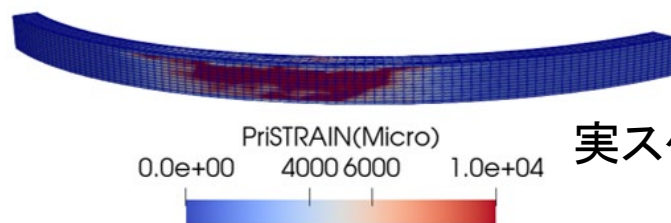
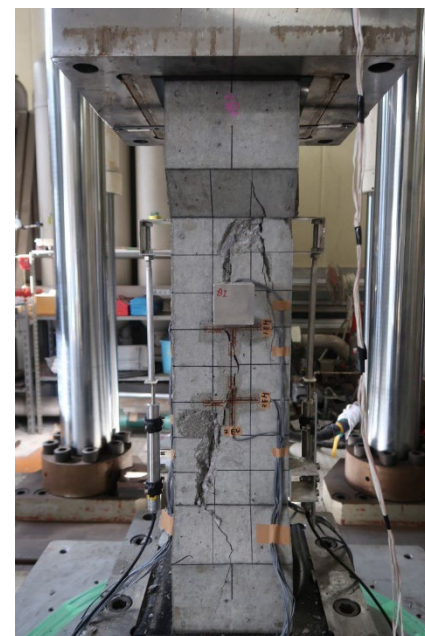
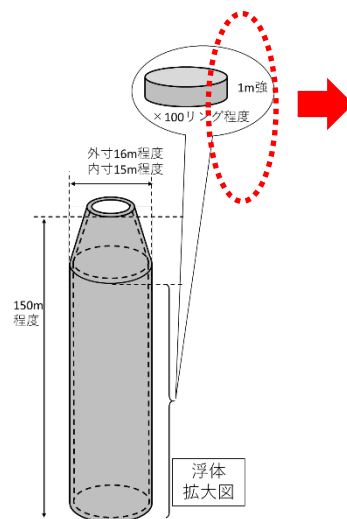
[解説]

(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)

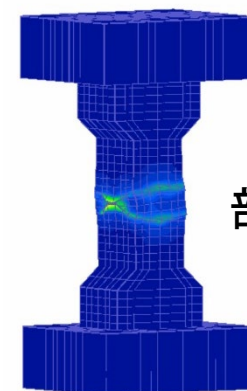
一軸圧縮応力下における高強度コンクリートの疲労破壊挙動



洋上風力発電の種類

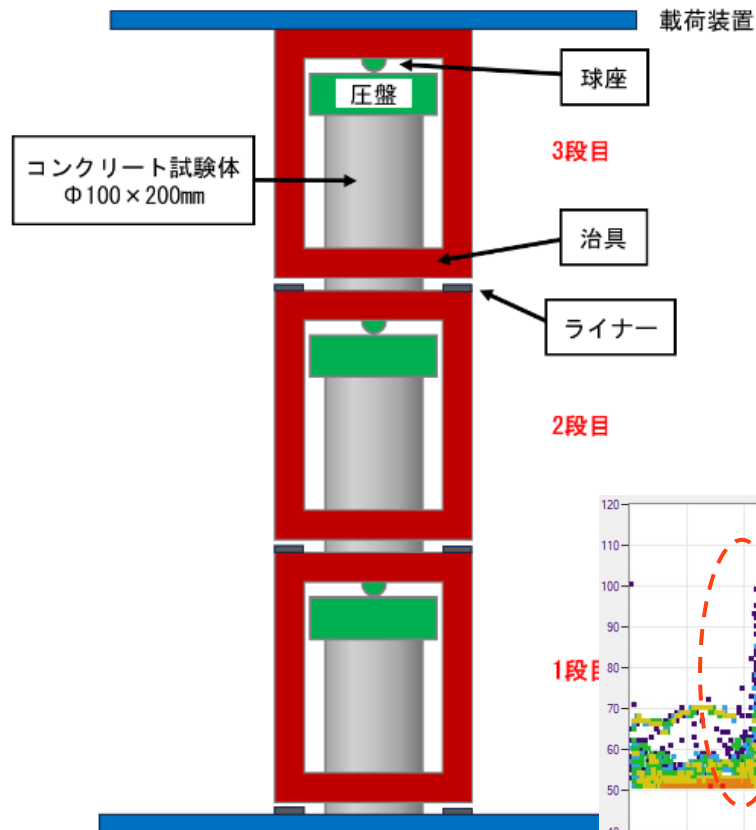


実スケール

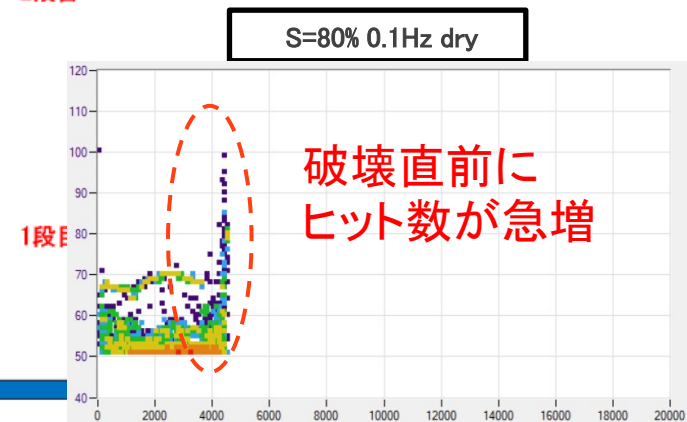


昨年度の成果(一軸圧縮応力状態)

・ 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)

本研究の目的・流れ

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



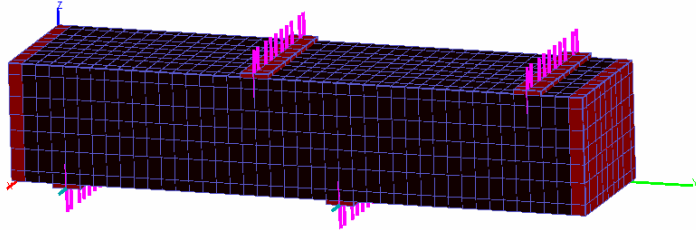
部材にせん断力が作用するときの破壊挙動について実験的な分析を行った。

■研究の流れ

- ・プレキャスト製コンクリート浮体の試設計
- ・プレストレスで緊張する部材間の接合部を模擬した縮小部分模型試験体を製作
- ・載荷実験(水中／気中、静的)

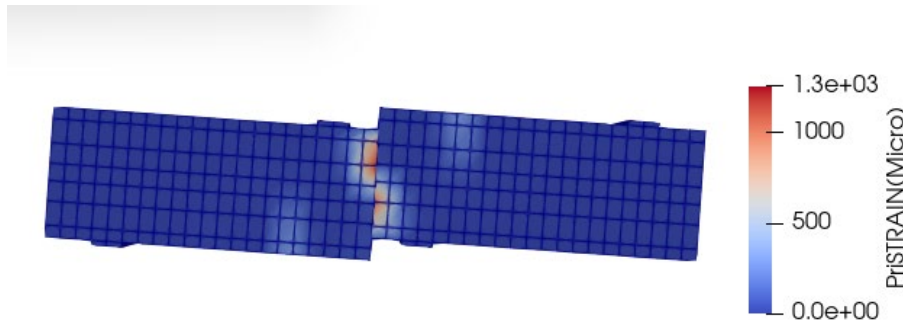
試設計(使用ソフト:COM3)

■解析モデル



■解析結果

- ・試験体サイズ: 315 mm × 270 mm × 600 mm
- ・試験体全体にプレストレス導入
- ・コンクリートの物性値:
 $E_c=350000\text{kgf/cm}^2$ 、 $f_c=600\text{kgf/cm}^2$ 、 $f_{tc}=35\text{kgf/cm}^2$
- ・鉄筋の物性値:
 $E_s=2100000\text{kgf/cm}^2$ 、 $f_y=4000\text{kgf/cm}^2$ 、 $f_{ts}=6000\text{kgf/cm}^2$
- ・ボンド要素(@接合部)
圧縮時のせん断剛性を 1000000 kgf/cm^3 、
圧縮時の開閉剛性を 2000000kgf/cm^3 、摩擦係数は0.7



選択的に接合面付近に破壊が集中していることが分かった。

最大耐力時の最大主ひずみ分布

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

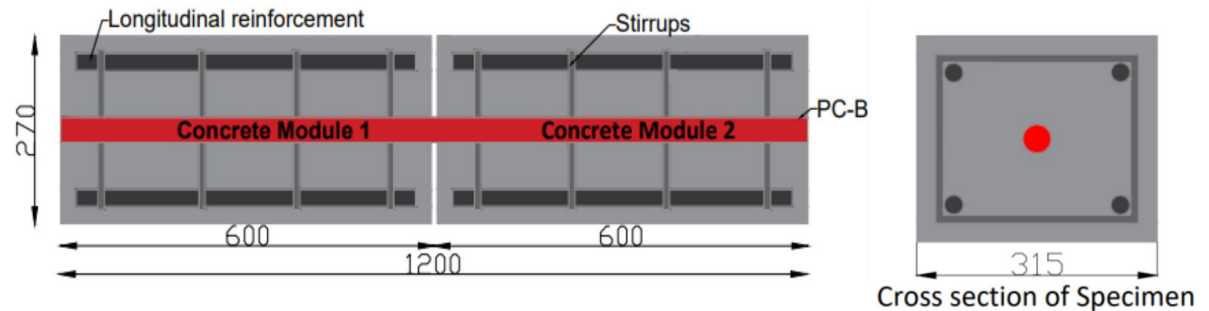
Conditions	Compressive Strength (MPa)	Shear Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Poisson's Ratio
Air	55.6	16.6	3.99	0.19
Submerged in Water for 3 days	59.8	15.9	4.45	0.33

■グラウトの特性

Item	Temperature Range (0C)	Target Consistency (JP Flow Time, Sec)	Water to Material Ratio (%)	Premix 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。



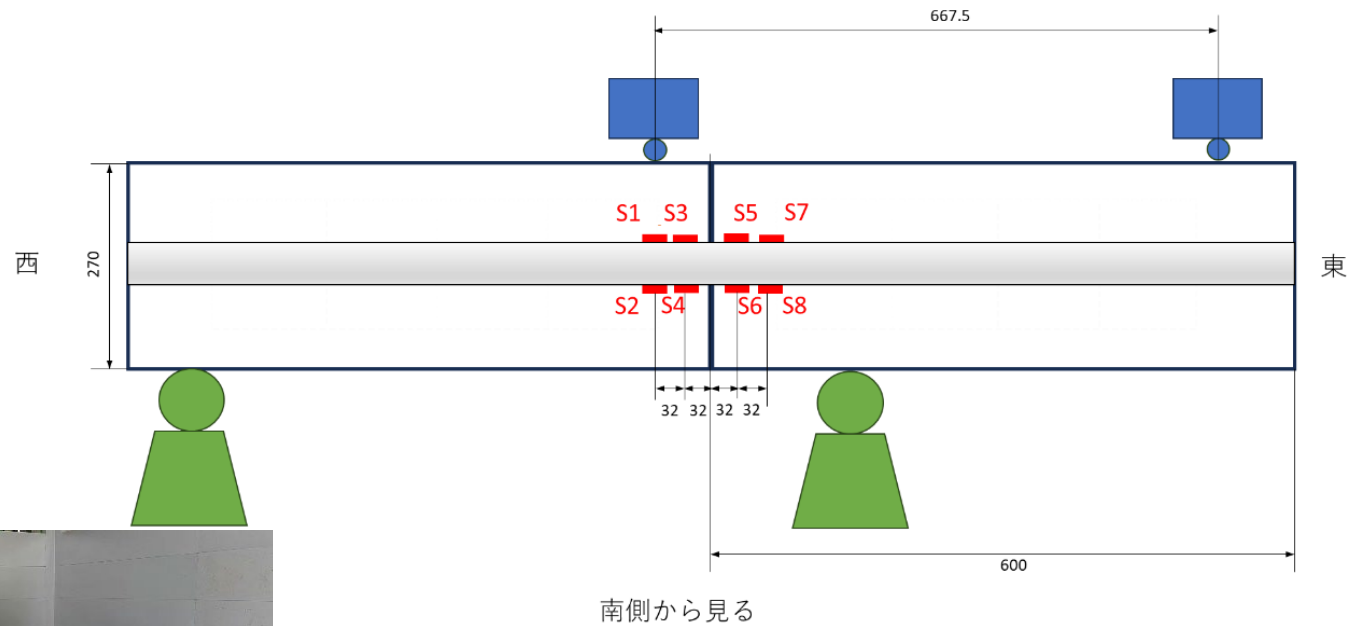
緊張作業



YNU 横浜国立大学 **グラウト充填後**
YOKOHAMA National University

载荷条件

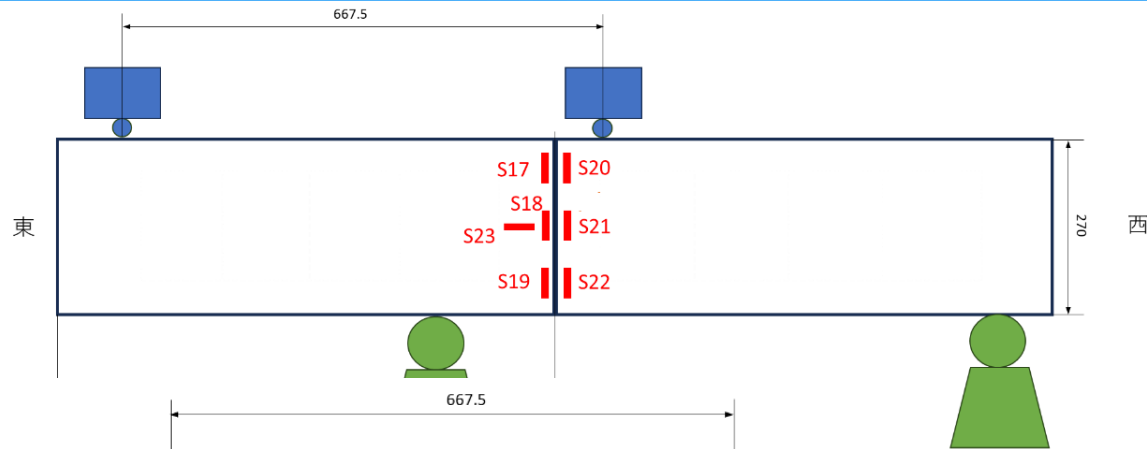
载荷点



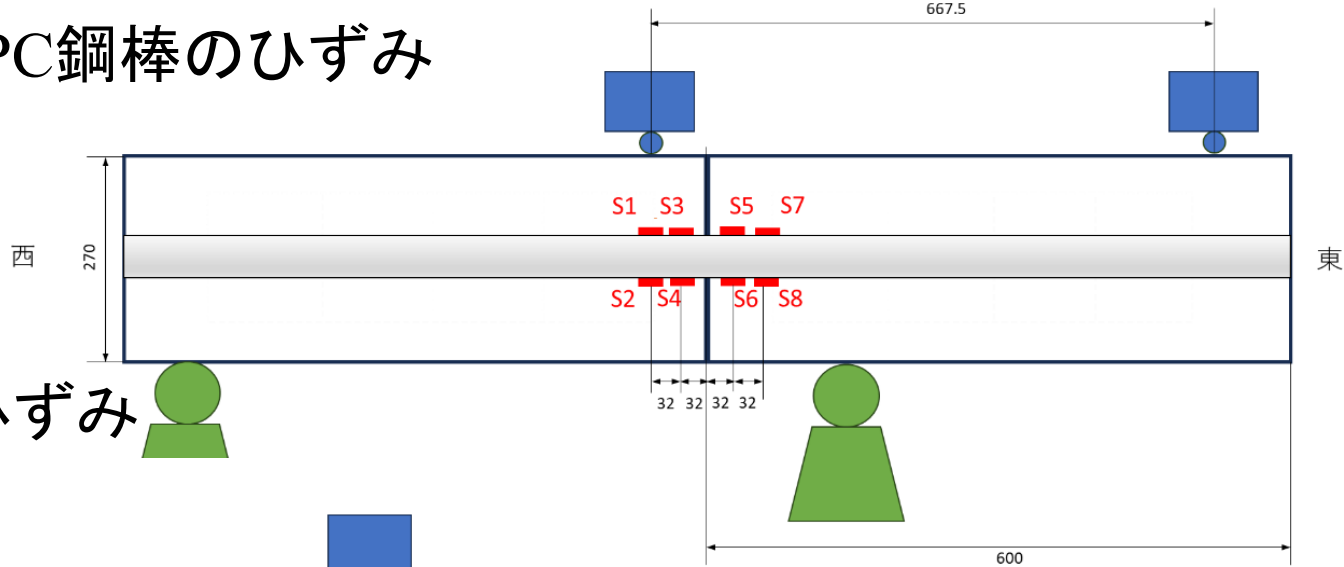
支点

計測位置(ひずみ)

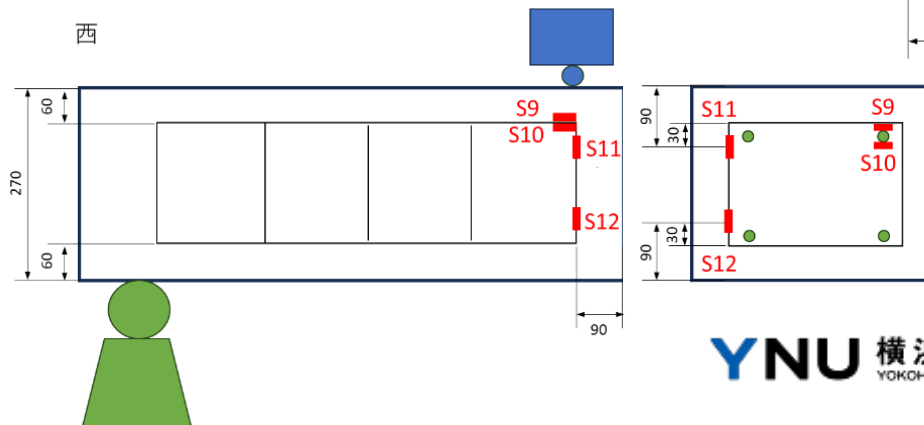
■コンクリートのひずみ



■PC鋼棒のひずみ

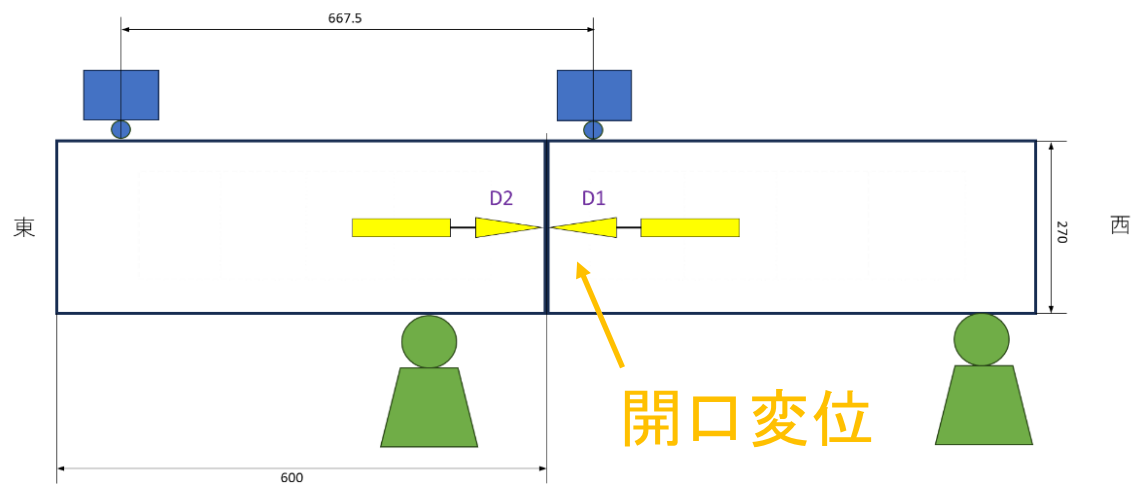
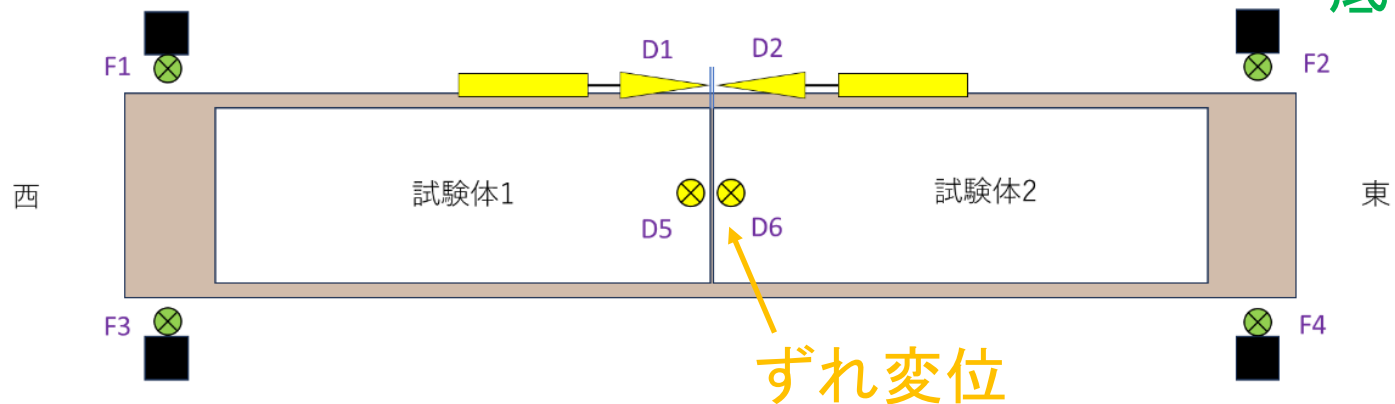


■鉄筋ひずみ



計測位置(変位計)

底板の動き



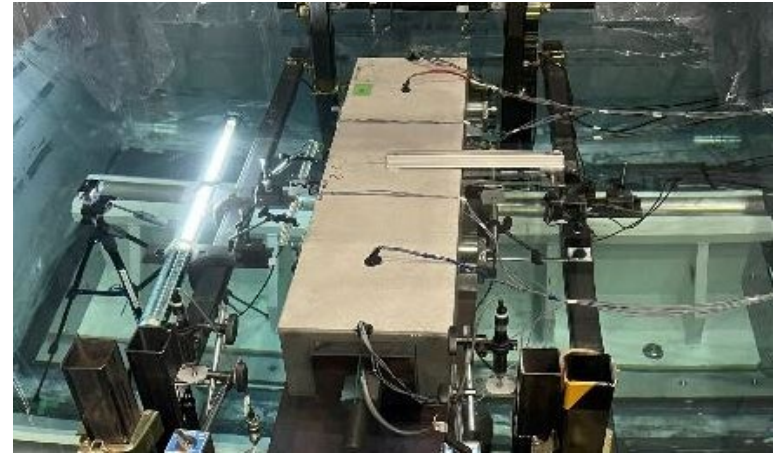
北側から見る

載荷の様子

■ 気中載荷の様子



■ 水中載荷の様子

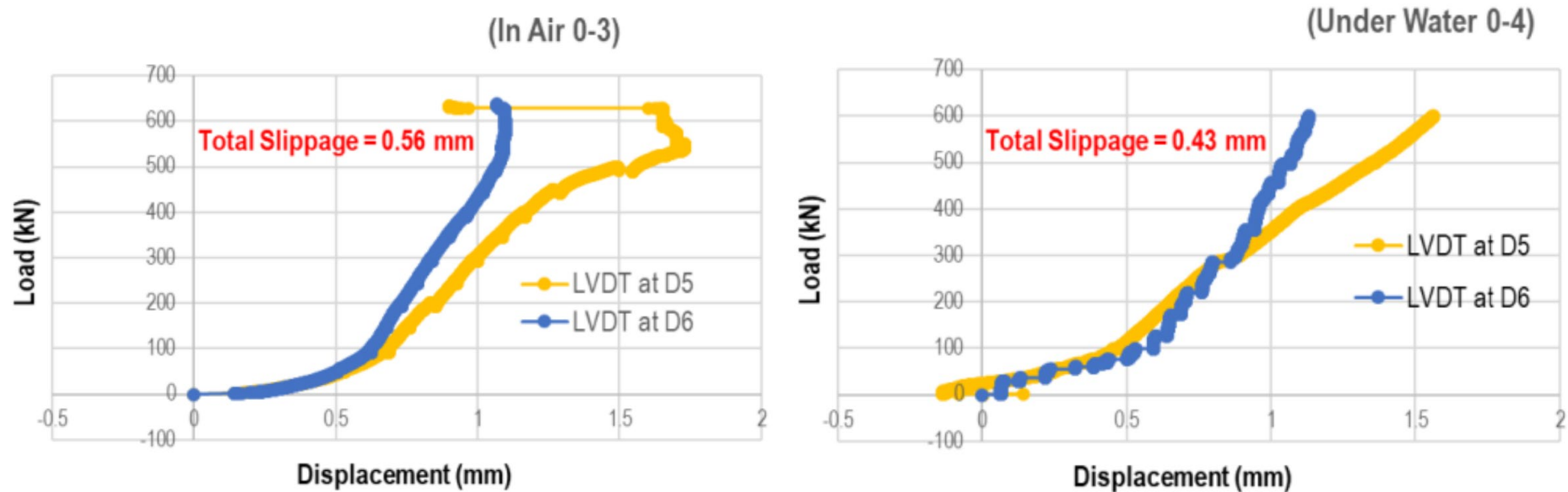


■ 載荷条件：静的載荷

ただし、PC鋼棒を挿入したコンクリート部材における接合部せん断実験は、PC鋼棒のダボ効果が支配的になる曲率変化点で終了。

実験結果①

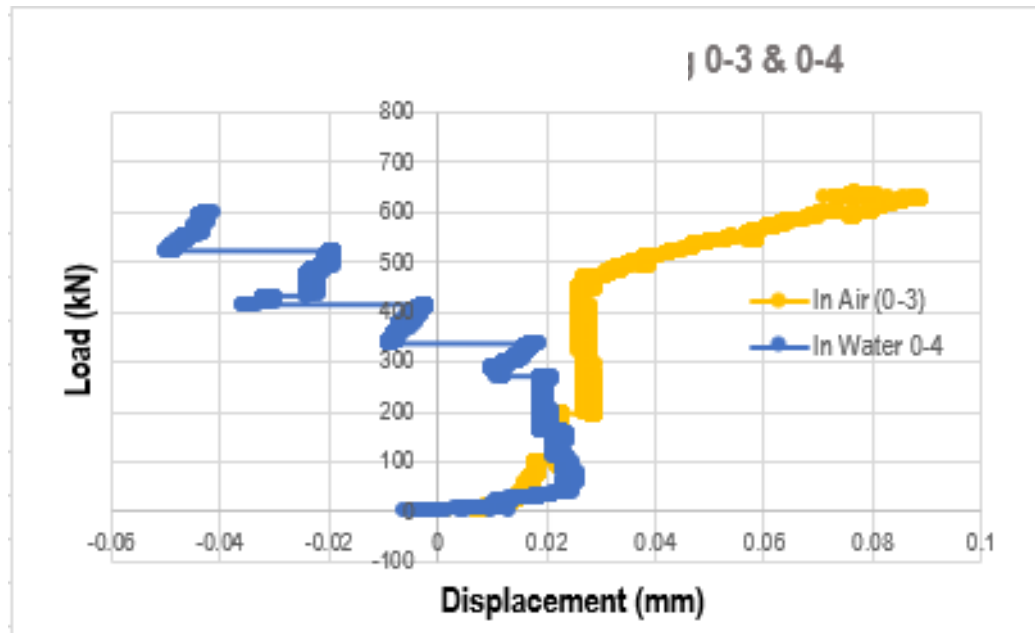
■ ずれ変位の様子



- ・気中の場合、接合部のずれ変位最終的に0.56mmまで増加し続けた。一方、水中の場合、最大時で0.43mmに達した。
- ・ずれ変位が生じ始める荷重レベルは、水中の場合のほうが高い(ずれにくい)という結果であった。

実験結果②

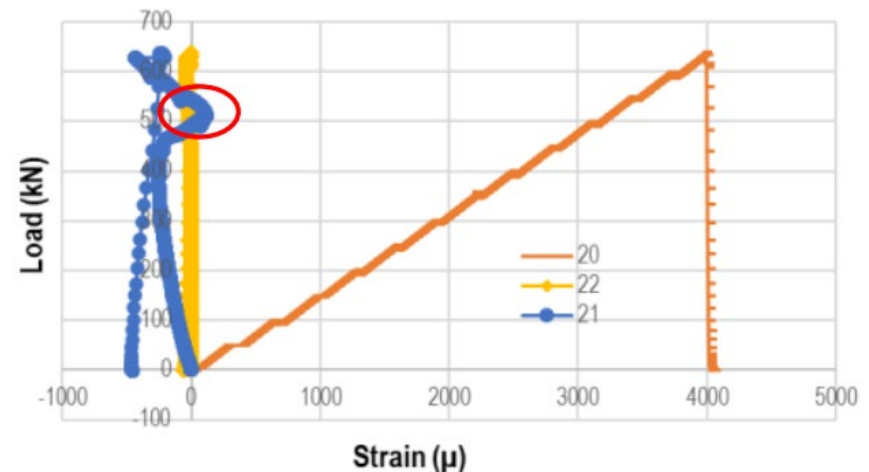
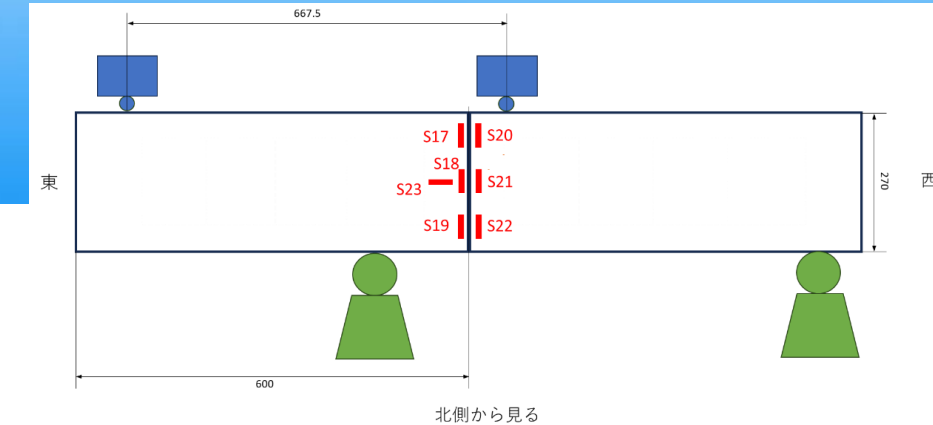
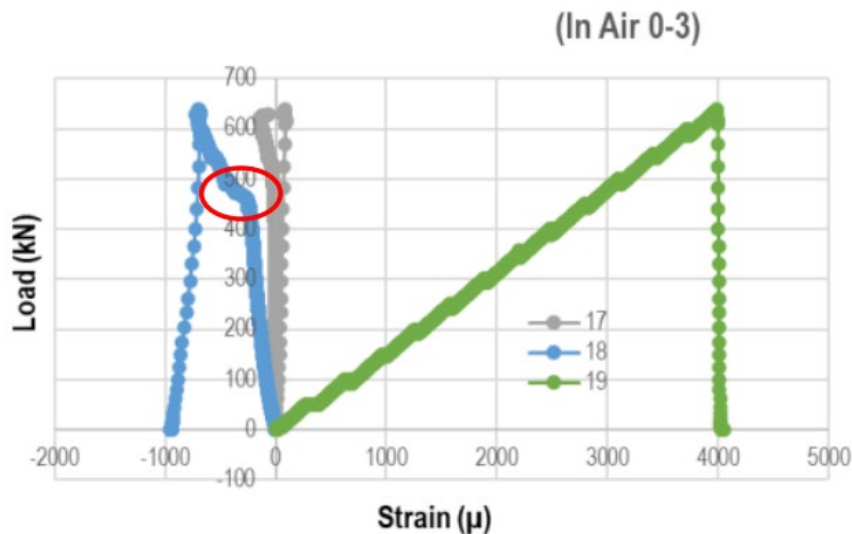
■開口変位の様子



- ・水中では、気中と比べて接合部開口が小さいことが分かった。
➡水中で接合部に繰り返しせん断力が作用しコンクリートが損傷し(剛性が低下し)、接合部が閉じる方向に推移した？
- ・いずれの試験体も、接合部に著しい開口は認められなかった
➡プレストレスは有効に機能していた。

実験結果③

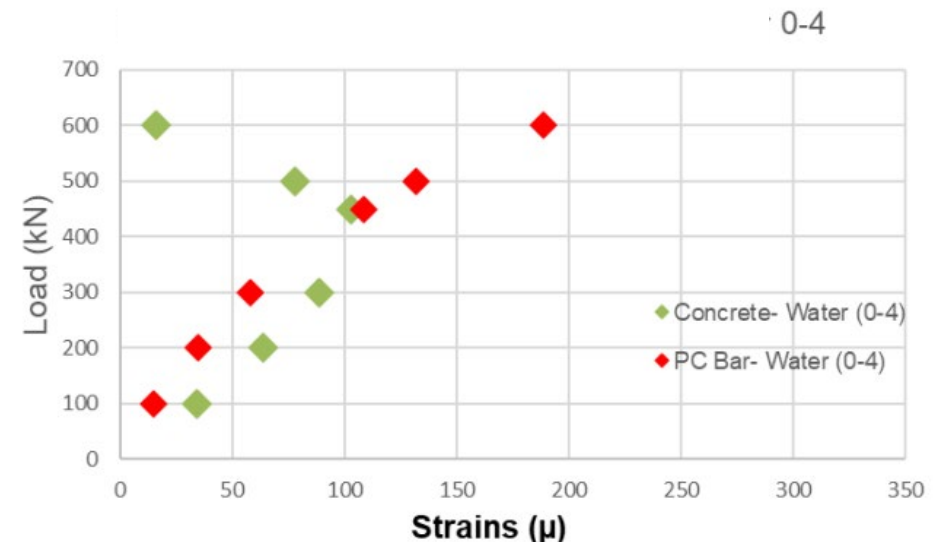
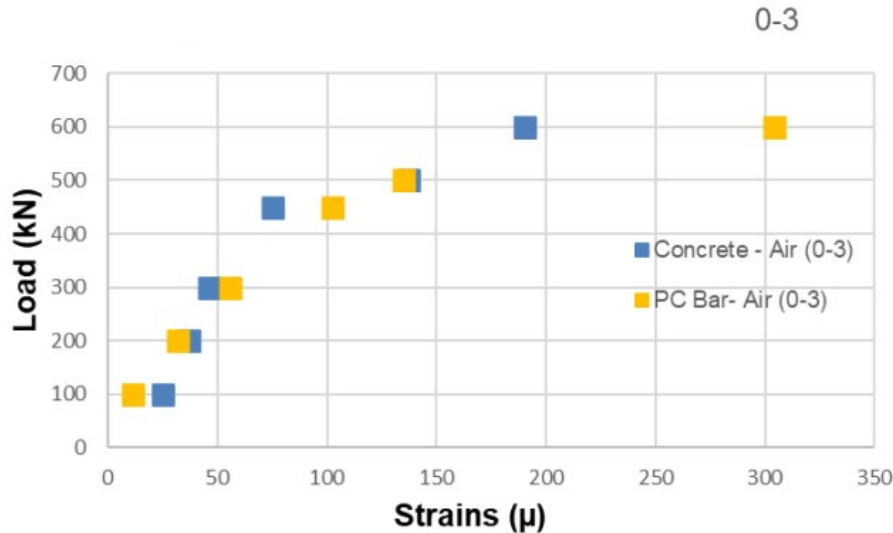
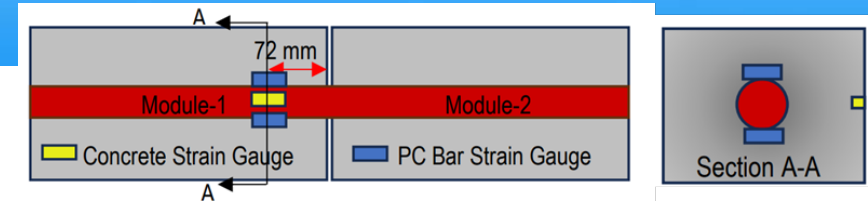
■コンクリートのひずみ(気中)



- ・S18およびS21で継続的に圧縮力が作用している
➡解析での想定と同様の傾向
- ・S19とS20で大きく引張ひずみが生じている
➡試験体の破壊傾向と一致(次々頁)
- ・450kN程度で破壊が進行している？(次頁参照)

実験結果④

■コンクリートとPC鋼棒のひずみ

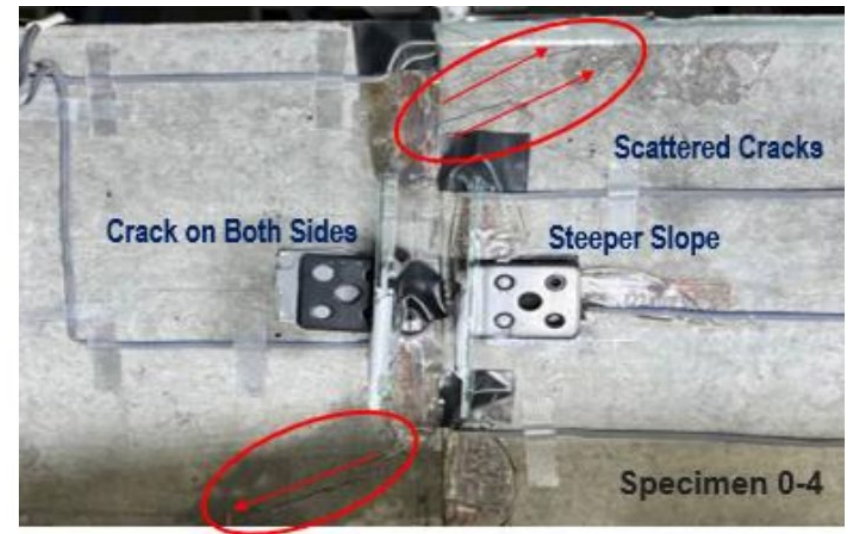
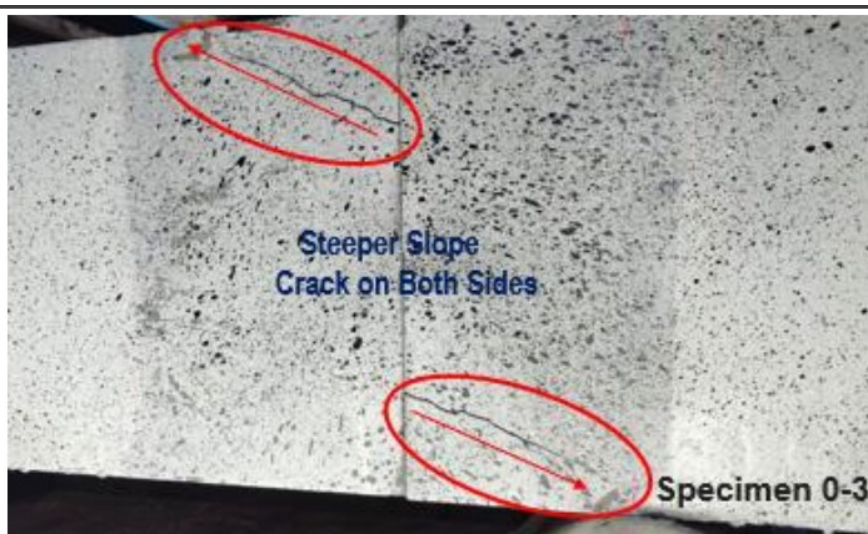


- ・気中および水中の試験体いずれもPC鋼棒とコンクリートは載荷初期段階で同じような増加傾向。
- ・ただし、水中のコンクリートひずみは気中よりも大きく、初期剛性が小さい
 ➡水中に浸漬したコンクリート試験体の方が剛性が低いため？
- ・450 kNを境に、ひずみが急増もしくは水中ではPC鋼棒とコンクリートのひずみ値が乖離。
 ➡前頁の傾向と一致

実験結果⑤

■ 載荷後の損傷の様子

DICによる分析結果から、ひび割れの進展方向を判定し、矢印で示した。



- ・両ケースにおいて、上下両面（上部と下部）に急勾配の均一な亀裂が観察された。ただし、水中条件下では亀裂の分岐が多く観察された。
- ・気中での最大耐荷力は638 kNであったのに対し、水中条件下では600 kNであった。最大荷重として5%程度の違いであり、水中においても気中とほぼ同様の耐荷力が示され。

【まとめ】

- ・水中条件下では、接合部のずれ変形および開口変形が生じにくい(相対的に高い荷重レベルまで発生しない)ことが分かった。
- ・最大荷重時も水中条件下のほうが、ずれ変形および開口変形ともに小さいことも分かった。
- ・水中条件下での接合部の最大荷重は、気中条件下の場合と比べほぼ同じ(5%程度低い)であった。

【課題】

- ・接合部を有する試験体に対して気中/水中でのせん断疲労実験
- ・数値シミュレーションによる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

