

液状水に起因した風車基礎アンカーリング周りのコンクリート疲労寿命に関する一考察

東電設計株式会社

正会員 ○茂木 寛之

東京工業大学大学院理工学研究科

正会員 千々和伸浩

(株)ユーラスエナジーホールディングス

齊藤 智久

三井住友建設株式会社

正会員 篠崎 裕生

1. はじめに

風車タワーの定着方式の一つとして、鋼製のタワーにベースプレートを溶接して、コンクリート基礎内に埋め込んで定着するアンカーリング方式がある。このアンカーリング方式により定着された風車タワー基礎において、近年スラッジが噴出し、その結果、タワーが浮き上がり補修を要した事例が報告されている(図-1)。

著者らの既往の報告¹⁾では、液状水に起因した風車基礎アンカーリング周りのコンクリート損傷進展機構について報告しているが、疲労損傷寿命の予測に関する定量的な評価については行っていない。

そこで、本検討では、コンクリートの損傷進展機構に対し、コンクリート標準示方書²⁾において疲労について培われた知見として示されているコンクリートの疲労寿命曲線(以下、コ示の疲労寿命曲線)を適用できるか評価する。

2. コ示の疲労寿命曲線

コンクリート標準示方書では、一定の繰返し応力下におけるコンクリートの設計疲労強度 f_{rd} は、疲労寿命 N と永久荷重による応力度 σ_p の関数として、次式で表されている。

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

ただし、 $N \leq 2 \times 10^6$

ここで、 f_d : コンクリートの設計強度、 K : コンクリ

ートの種類や湿潤・気乾状態に関する係数(水で飽和される場合、軽量コンクリートの場合 $K=10$ 、その他の一般の場合 $K=17$)、 k_{lf} : 載荷方向に関する係数(圧縮および曲げ圧縮の場合 $k_{lf}=0.85$ 、引張および曲げ引張の場合 $k_{lf}=1.0$)である。

3. コ示の疲労寿命曲線に適用する実験概要

著者らの既往の報告¹⁾では、コンクリート損傷進展の影響要因が構造性能に与える影響を解明するために、液状水の有無、液状水の供給速度、空隙特性の差異、載荷速度の差異をパラメータとして実験を行っている。試験体は、アンカーリング方式基礎の一部をモデル化したものであり、1辺が500mmの正六面体で、中央にアンカーリングを模した鋼材を設置している(図-2)。実験における荷重載荷は、アンカーリングによる1軸鉛直方向の繰返し載荷としている。

同実験より推測した液状水作用下における風車基礎コンクリートの損傷進展機構を図-3に示す。

4. 実験結果へのコ示の疲労寿命曲線の適用

4. 1 コ示の疲労寿命曲線の適用性

3章で述べた実験において、コンクリートの損傷進展モードの変化点(イベント)を以下のように定義した。ベースプレートまで水が浸入した時点(図-3②に相当)をイベント(i)とする。水が浸入した後引抜変位が急増した時点(図-3⑥に相当)をイベント(ii)とする。実験における引抜変位が仮破壊基準(引抜変位5mm)に達した時点(図-3⑧に相当)をイベント(iii)とする。

3章で述べた実験の各ケースにおける支圧強度比とイベント時回数に関するまとめを表-1に示す。

ここで、各イベント間におけるコ示の疲労寿命曲線の適用性について述べる。

(1) 実験開始→イベント(i): 乾燥状態という点では、水無しのコ示の疲労寿命曲線(ここでは、 f_d =コンクリートの圧縮強度 f_{cd} 、 $k_{lf}=1.0$ 、 $K=17$ 、 $\sigma_p=0.0$)を作成した際の

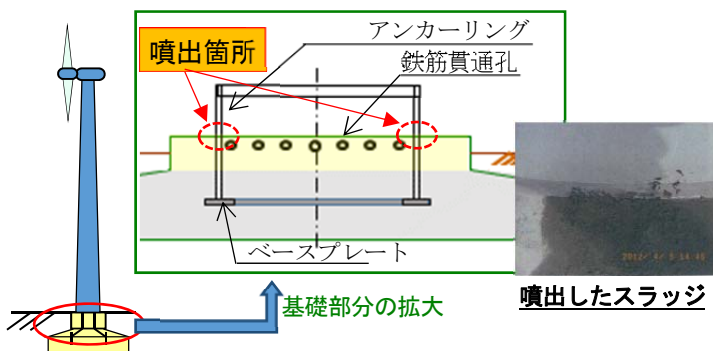


図-1 アンカーリング定着部とスラッジ噴出箇所

キーワード 液状水, 風車基礎, アンカーリング, 疲労寿命

連絡先(住所): 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12KDX 豊洲 9F・TEL:03-6372-5559・FAX:03-6372-5595)

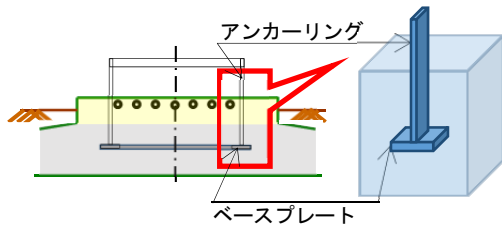


図-2 アンカーリング方式基礎の試験体モデル

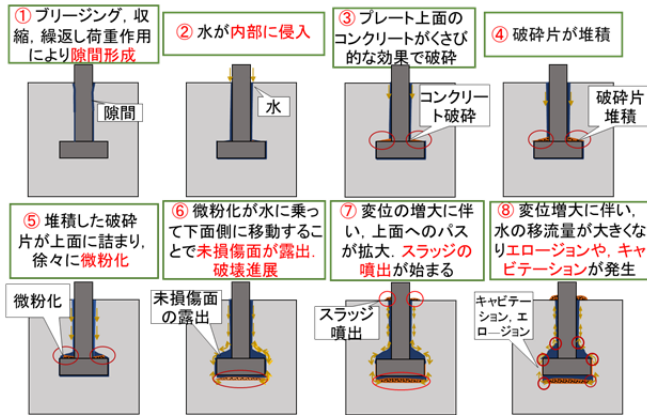


図-3 液状水作用下におけるコンクリート損傷進展機構

実験条件と一致する。しかしながら、同区間はアンカーリングとコンクリートの化学的付着が切れベースプレートに水が達した回数であり、水無しでコンクリートが圧壊する回数とは破壊メカニズム上明らかに異なる。よって、同区間に対し、同曲線は適用できないと考える。

(2) イベント(i)→イベント(ii): 同区間は、ベースプレートまで水が浸入しくさび効果等によりベースプレート周りのコンクリートが損傷されるまでの区間である。この損傷機構は、水中におけるコンクリートが圧縮疲労破壊するメカニズムに似ていると考えられ、同区間は水有りのコ示の疲労寿命曲線(ここでは、 f_d =コンクリートの圧縮強度 f_{cd} , $k_{lf}=0.85$, $K=10$, $\sigma_p=0.0$)には適用可能と考える。コ示の疲労寿命曲線に各実験で得られたイベント(i)→(ii)の回数をプロットした図を図-4に示す。同図より、実験で得られた同区間における回数は、水有りのコ示の疲労寿命曲線よりも1オーダー小さくなっており、現状の同曲線のままでは同区間に適用できないと考える。

(3) イベント(ii)→イベント(iii): 同区間は、コンクリートが支圧と水流で削られていくような損傷が生じている区間である。このような損傷に対し、コンクリートの圧縮疲労破壊を示すコ示の疲労寿命曲線は適用できないと考える。同区間における損傷メカニズムに対するコンクリートの疲労寿命曲線については今後の課題とする。

4. 2 コ示疲労寿命曲線と実験結果の差異について

著者らの既往の報告¹⁾から低水セメント比の使用による空隙の緻密化や載荷速度の抑制によって、破壊繰り返

表-1 支圧強度比とイベント時回数に関するまとめ

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
載荷方法	繰り返し			
水の供給	×	○		
水セメント比	62.4%	62.4%	40.9%	62.4%
載荷速度	0.5Hz	0.5Hz	0.5Hz	0.1Hz
圧縮強度 f_{cd} (28日強度)(N/mm ²)	34.0	34.0	51.0	31.0
支圧応力 f_d (N/mm ²)	13.78	13.78	20.08	12.20
支圧強度比 f_d/f_{cd}	0.41	0.41	0.39	0.39
イベント(i)の回数	---	90,000	220,000	5000
イベント(ii)の回数	---	95,000	290,000	8,000
イベント(iii)の回数	---	110,000	530,000	未達
イベント(ii)-(i)	---	5000回	70,000	3000

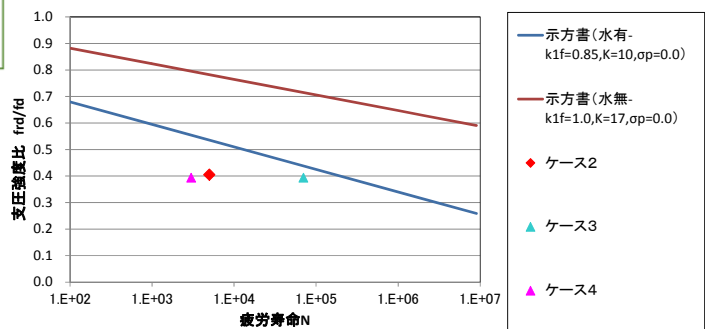


図-4 コ示の疲労寿命曲線と実験結果の比較

し回数が延びることが示されており、微細空隙中における水の挙動が現象のキーポイントであると考えている。1軸疲労試験³⁾は水槽中に静置した試験体への繰り返し載荷試験であり、空隙中の水は外部へ排水されやすい条件であるので水の影響が現れにくい。それに対して今回の実験は、ほぼ完全な閉鎖空間における試験であり、かつ空隙から水が抜けるだけの時間のない速度での実験である。よって、水は強制的に更に奥の未飽和空隙の方へと押し込まれ、同時にこれらの水がくさび効果による破壊の基点となったため、同曲線と実験結果に差異が生じたと考えられる。

5. まとめ

液状水に起因した風車基礎アンカーリング周りのコンクリート疲労損傷予測に対し、コ示の疲労寿命曲線をそのまま適用することは難しいことがわかった。実験で生じたような、閉鎖空間における水の挙動による影響を考慮する係数を同曲線式に設ける必要があると考え、今後の課題とし、検討を引き続き行うものとする。

参考文献

- 1) Nobuhiro Chijiwa et al : Rapid Degradation of Concrete Anchorage Performance by Liquid Water, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.13, No.10, pp.438-448, 2015
- 2) 2012年制定 コンクリート標準示方書 設計編, 土木学会
- 3) 松下博道: 水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究, 土木学会論文報告集, 第296号, pp.87-95, 1980年4月