

3次元 FEM 解析による既存アンカー耐力式の係船曲柱用アンカーへの適用性検討

中央復建コンサルタンツ株式会社 正会員 ○尾崎 竜三, 小田 隼也
国土技術政策総合研究所 正会員 宮田 正史
株式会社サンユウシビルエンジニアリング 清水 徹

1. はじめに

今般、係船曲柱のアンカーの小型化のために、既存アンカー耐力式を係船曲柱アンカーの設計へ適用することが検討されている¹⁾。その候補の1つである日本建築学会の各種合成構造設計指針・同解説²⁾に示されるアンカー耐力式(以下、既存耐力式と記す)は、図-1のようなコーン状破壊を想定したものであるが、係船曲柱のアンカーの諸条件と異なる実験条件下で構築されている。そこで、この耐力式の適用性を検証するために、既存のアンカー引抜き実験をFEM解析により再現し、破壊挙動、引張耐力を確認する。さらに、再現解析で調整・検証したパラメタ、解析手法を用いて、段階的に解析対象を変え、最終的に係船曲柱用のアンカーを対象としたときのアンカーの引張破壊に至る挙動を確認し、既存耐力式の適用性を検討した。

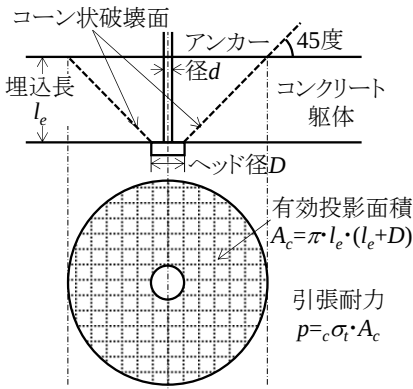


図-1 コーン状破壊の考え方

表-1 FEM 解析ケースの概要、アンカー形状など

	解析の目的	ケース (それぞれ(1)~(4))	アンカー 径	埋込長	ヘッド
再現 ケース	実験の再現 キャリブレーション 耐力式算出値との比較	1本(1) 2本(間隔0.5L(2), 1.0L(3), 2.0L(4))	19mm	120mm	円形板 直径 32mm 厚み 12mm
実物 ケース	破壊挙動の確認 耐力式算出値との比較	アンカー長変更(1) プレート形状変更(2) 斜め1本(3), 2本(4)	19mm (M20に 代えて)	322mm	方形板 幅 80mm 厚み 16mm

2. FEM 解析ケース、解析条件および解析モデル

港湾局標準型の係船曲柱には先付アンカーが採用されているため、本研究では先付アンカーを対象とする。解析で再現する実験ケースは、合成構造指針の参考文献の中で、矢野ら³⁾による同規格での単体アンカー(1本)、群体アンカー(2本)の実験を再現ケースとして採用した。また、最小メッシュサイズを合わせるために再現ケースのアンカー径とほぼ同じアンカー径を有する50kN型係船曲柱のアンカーを実物ケースの対象とした。実物ケースの解析では、再現ケース(1)から段階的にモデルを変更して検討した(表-1参照)。

表-2 材料特性

コンク リート	密度(t/mm ³)	2.3×10 ⁻⁹
	圧縮強度(N/mm ²)	18.3
	ポアソン比	0.2
	破壊パラメタ(補正係数)	-0.25
アンカ ー	密度(t/mm ³)	7.8×10 ⁻⁹
	ヤング率(N/mm ²)	2.0×10 ⁵
	ポアソン比	0.3
コンクリート・アンカー間摩擦係数		0.4

コンクリートの応力ひずみ関係には材料モデルとして KCC モデル(Karagozian & Case (K&C) concrete model)を用いた。今回用いた解析プログラム LS-DYNA の中で一般的なコンクリート材料を再現するように材料パラメタが自動生成される。解析上、とくに影響が大きいと考えられる引張側の軟化特性をメッシュ依存性軽減のために調整した。今回の検討では最小解析メッシュサイズを変えないため、このパラメタ調整は再現ケース(1)の単体アンカーケースのみで行い、調整したパラメタは他の全ケース(実物ケースも含め)に同様に適用した。コンクリートの引張破壊を先行させるため、アンカーは弾性体として破壊に至らないものとした。コンクリート、アンカーの特性を表-2に示す。再現ケースの単体アンカーの解析モデルを図-2に示す。本ケースでは1/4領域をモデル化した。アンカー周りを詳細メッシュとし、徐々に大きなメッシュを配置した。アンカーに一定速度で強制変位を与え、衝撃的に作用しないように解析開始直後および終了直前は滑らかな载荷とした。

キーワード 係船曲柱, アンカー, 3次元 FEM, 耐力式, コーン状破壊

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL06-6160-2162

3. 解析結果と考察

図-3 に再現ケース(1)のダメージ指標分布を示す。ダメージ指標 δ は、材料モデルの仕様により一部修正された相当塑性ひずみ λ を用いて $\delta = 2\lambda/(\lambda + \lambda_m)$ で得られる。ここで、 λ_m は荷重が最大値をとるときの λ である。

アンカー先端からダメージ指標が最大値に達して引張破壊面(赤色の帯)が形成されていることが分かる。既存耐力式適用時の45度のコーン状破壊面より緩い破壊面であるが、「ヘッド近辺では約45度の急勾配であるが、コンクリート表面に近づくに従い緩勾配の曲線となる。」と文

献に記載があり、結果と調和的であった。図-4 に再現ケースの各ケースの実験結果(読取值)、FEM 解析結果、既存耐力式による算出値をアン

カー間隔に対してプロットした。本図より実験結果、FEM 解析結果、耐力式算出値はいずれも調和的であること、解析で概ね実験を再現できたことが分かる。

次に実物ケースの強制変位と引張荷重の関係を図-5 に、最大引張耐力と既存耐力式の算出値との比較を表-3 に示す。鉛直配置アンカーのケース(1)、(2)では、ケース(1)で FEM 解析結果が小さい値となった。ケース(1)はアンカー長に比べてヘッドが小さく、アンカーが抜けるような挙動(支圧破壊)となり、コーン状破壊として耐力を発揮しなかったと考えられる。ケース(2)の解析結果と耐力式は調和的であった。斜め配置アンカーのケース(3)、(4)では、解析結果は耐力式を大きく上回った。なお、既存耐力式の斜めアンカーへの適用方法は示されておらず、本検討では傾斜アンカーのヘッドから45度方向に発生したコーン状破壊面(図-6の右下図面)がコンクリート表面と交差する円錐底面を有効投影面積として耐力を算出した。解析では破壊面の角度が右側、左側ともに鉛直アンカーの場合よりもさらに緩い(図-6)。この破壊面の角度差が解析値と耐力式の差の一要因であると推察される。斜め配置の際の既存耐力式の適用方法は今後の課題である。

4. まとめ

係船曲柱アンカーの設計への既存アンカー耐力式²⁾の適用性を検討するために、3次元 FEM 解析を実施し、実験の再現、実物アンカーの破壊挙動を検証した。今回の検討条件下での結果であるが、FEM 解析により実験を概ね再現でき、鉛直アンカーではコーン状破壊の耐力式と調和的であり、既存耐力式による斜めアンカーの耐力は安全側の値を算出することが分かった。引き続き、設計法としての適用性を検討する必要がある。

参考文献 1)中村ら：係船柱用アンカーボルトの小型化に向けた設計法の比較，第75回土木学会年次学術講演会講演概要集，2020.，2)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2014.，3)矢野ら：機器配管用支持構造物(埋込金物)の耐力に関する実験研究(その10 埋込金物の極限耐力に及ぼす群効果の影響)，日本建築学会大会学術講演梗概集，1982.

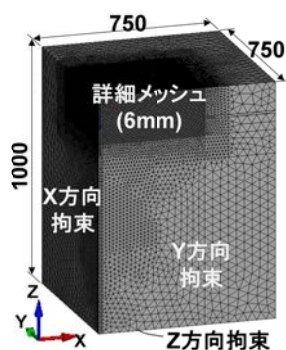


図-2 3次元 FEM モデル

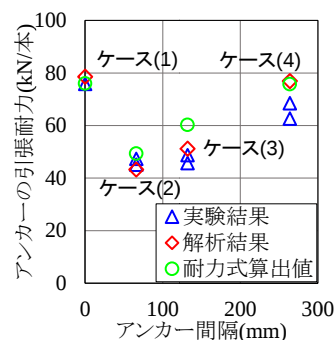


図-4 最大引張荷重の比較

表-3 最大引張荷重の比較

ケース	解析結果 (kN)	耐力式算出値(kN)
(1)	339.5	474.9
(2)	539.8	539.3
(3)	478.8	271.9
(4)	297.3	187.0

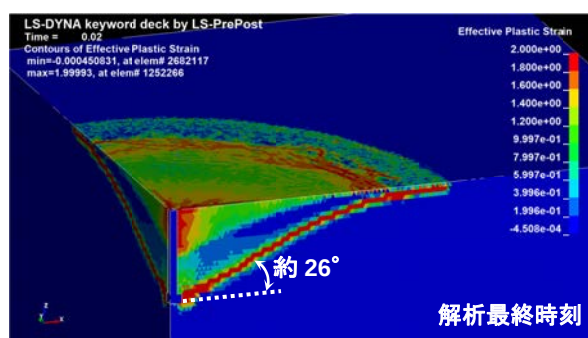


図-3 ダメージ指標分布：再現ケース(1)

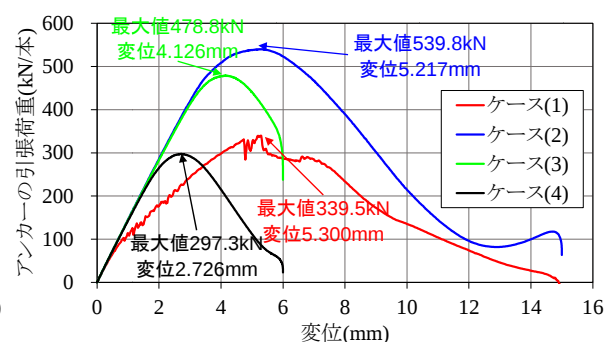


図-5 荷重－変位関係

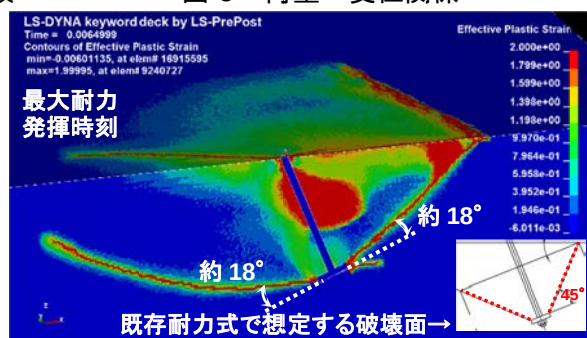


図-6 ダメージ指標分布：実物ケース(3)