

鋼材の終局状態に基づく岸壁耐震検討その1～鋼部材の非線形特性の検討～

新日鐵住金株式会社 正会員 伊勢 典央 正会員 妙中 真治
株式会社日建設シビル 正会員 ○道谷 梓 正会員 田辺 篤史

1. 背景と目的

港湾基準による耐震検討においては、鋼部材の $M-\phi$ 関係は全塑性モーメントの完全バイリニア（二次勾配ゼロ）を用いるのが一般的である。一方、既往の被災調査事例¹⁾では降伏後に耐力上昇のある二次勾配を考慮したトリリニアモデルを $M-\phi$ 関係に用いることで、実際の被災事例を説明できることが示されている。しかし、この検討では鋼材の材料強度における塑性硬化（SSカーブの二次勾配）を考慮することなく $M-\phi$ 関係を定義しており、鋼材の塑性硬化による耐力の上昇分を十分に考慮できていない可能性がある。そのため、実構造物の挙動分析においては簡易的な評価手法を提案しているに過ぎないと言える。そこで、本検討では港湾岸壁の液状化検討を対象として、まず鋼部材の鋼管杭と鋼矢板について、有限要素法を用いたパラメータ解析により降伏後の非線形挙動を把握することに取り組み、鋼材塑性硬化が $M-\phi$ 関係の二次勾配に与える影響について検討を実施した。

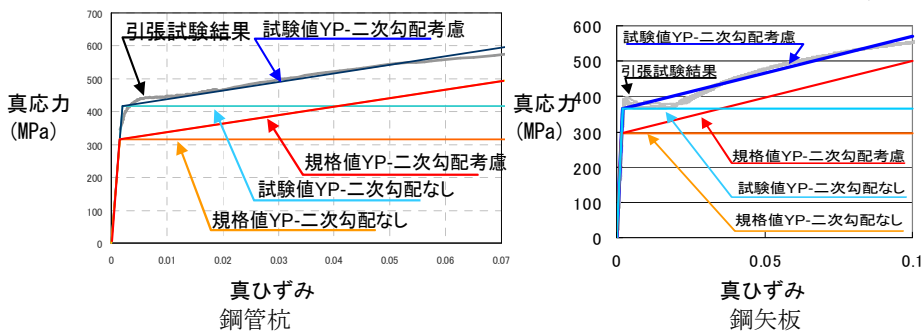


図1 鋼材のSSカーブとそのモデル化

2. 解析条件

解析における主たるパラメータは、鋼材の二次勾配考慮の有無と、降伏強度とした。鋼管杭と鋼矢板に用いられている鋼材の引張試験結果(SSカーブ)を使用したモデルの値と共に図1に示す。解析における構成則はバイリニアの移動硬化則とし、引張試験結果を元に特性を決定した。

各部材の有限要素メッシュを境界条件とともに図2および図3に示す。解析コードにはAbaqus ver. 6.11-4を使用した。解析モデルはシェル要素(S4R)によりモデル化し、対称性を考慮してハーフモデルとした。要素サイズは座屈を考慮できる様に板厚程度とした。境界条件は既往の解析や実験の結果を勘案して、鋼管杭（管径 400mm, 板厚 6mm）は地中部に対応する純曲げ、鋼矢板（VL型）は基盤との境目に対応する片持ち梁条件とした。なお、鋼管杭・矢板とも腐食条件下にあるため、腐食代分板厚を減少させて解析を行った。鋼矢板については継手部のすべりによる影響を安全側に考慮するために、図3に示すように咬み合っているが摩擦ゼロですべる条件で検討した。

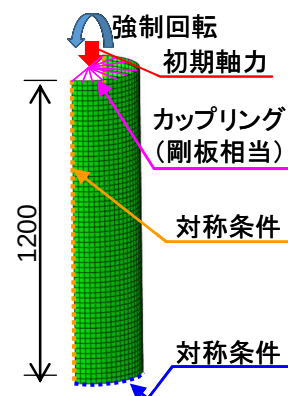


図2 鋼管杭の解析モデル

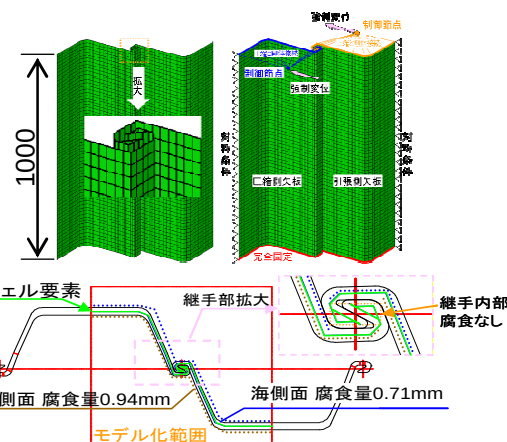


図3 鋼矢板の解析モデル

3. 解析検討

解析による変形図の例を図4および図5に示す。変形図からは解析に大きな問題はないと考えられる。鋼矢板については、すべりを考慮しても、継手部でのかみ合わせにより荷重が伝達され、面外方向の変形が抑制されているため、急激な耐力の低下が生じず、結果として、耐力と変形性能が高くなったものと考えられる。

キーワード 岸壁耐震検討, 鋼管杭, 鋼矢板, 塑性硬化, $M-\phi$, 二次勾配

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14 (株)日建設シビル 技術開発部 TEL: 06-6229-6372

解析により求めた鋼管杭の $M-\phi$ 関係を図 6 に示す。鋼管杭の $M-\phi$ 関係では、鋼材の塑性硬化を考慮したのにも関わらず、応答は全塑性モーメントと同程度であり耐力の増加（二次勾配）は認められなかった。むしろ径厚比が大きいことも影響するため、塑性硬化を見込まないと局部的に面外変形（図 4 左図参照）が発生し、変形性能が低下することが明らかとなった。

鋼矢板の解析による $M-\phi$ 関係を図 7 に示す。鋼矢板では、SS カーブの二次勾配を考慮しない場合は、曲率が低い段階で最大値に達しその後はほぼ一定値のトリリニア的挙動を示した。一方、SS カーブの二次勾配を考慮すると最大値にはなかなか到達しなくなり、図中橙破線で示す事前 FLIP 解析での応答曲率程度までは二次勾配を有するバイリニアと言ってよい応答となった。

4. $M-\phi$ 関係のモデル化

鋼矢板は SS カーブの二次勾配を考慮すると、降伏後も耐力が増加しており、事前 FLIP 解析の応答曲率レベル(0.20/m 程度)であればバイリニアでモデル化しても問題ないと想定される。そこで、降伏強度を設計値とした場合の解析結果を回帰分析することで二次勾配を $1480 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ とした $M-\phi$ 関係のモデル化を行った（図 8、表 1）。本モデルは、解析上の必要範囲をバイリニアでモデル化しているものの、既往の文献¹⁾で仮定されたモデルに比較的近いといえる。

5. まとめ

岸壁用鋼部材の非線形特性について非線形 FEM により鋼材の塑性硬化が部材の $M-\phi$ 関係に与える影響について検討した。その結果、鋼管杭については降伏後耐力の上昇はなかったものの、鋼矢板は降伏後も耐力増加のある二次勾配を有する $M-\phi$ 関係を示すことが明らかとなった。以上より、FILP 耐震検討においては、鋼管杭は二次勾配なしとし、鋼矢板は表 1 の二次勾配のあるモデルに変更した $M-\phi$ 関係を用いた解析を行い、岸壁の耐震性能評価の高精度化を図ることとした。

参考文献：1) 小泉他：被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発，港研資料，No.0912，1998.9。

表 1 鋼矢板の $M-\phi$ モデル

パラメータ	値
初期勾配	$122000 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
二次勾配	$1480 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$
折れ点のモーメント	$1190 \text{ kN} \cdot \text{m}$
折れ点の曲率	$0.00975 / \text{m}$

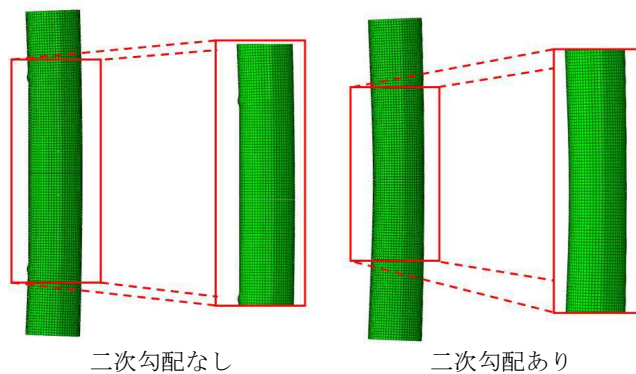


図 4 鋼管杭の変形図（曲率:0.15/m）

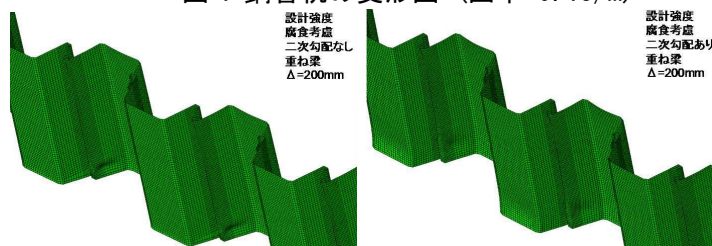


図 5 鋼矢板の変形図

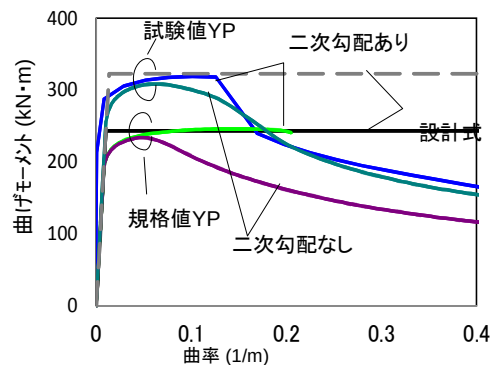


図 6 鋼管杭の $M-\phi$ 関係図

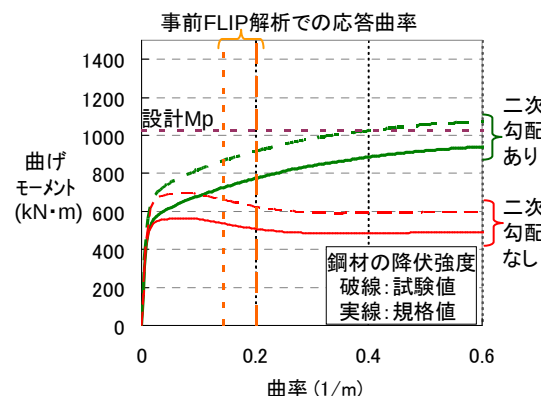


図 7 鋼矢板の $M-\phi$ 関係図

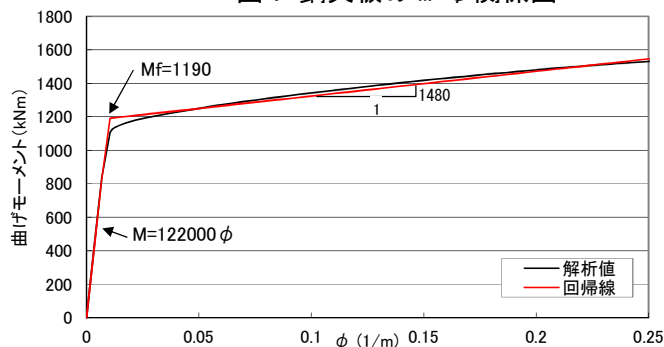


図 8 鋼矢板の非線形特性のモデル化