

アンカーボルトの塑性変形挙動を活用した超過作用時の鋼製橋脚の耐震性向上

名古屋工業大学 学生会員 ○廣田 鴻平
名古屋工業大学 正会員 野中 哲也

1. 目的

兵庫県南部地震では土木構造物に甚大な被害が生じたことから、道路橋示方書などの設計基準類が大幅に改定され、さらに、その後の東北地方太平洋沖地震や熊本地震を経験したことから、想定を超える地震に対しても、対策を講じることが求められている。すなわち、設計地震動を超える地震作用（以下、超過作用という）が生じた場合に対しても、致命的となる橋脚の倒壊を防ぎ、早期復旧、機能回復の観点を具体的に取り入れた設計が求められている。このような背景から、本研究では、円形断面鋼製橋脚を有する連続高架橋を対象に、鋼製橋脚のアンカーボルトの塑性変形挙動に着目し、その挙動を活用することにより超過作用に対して耐震性が向上する方法を考案し解析的に検討を行った。

2. アンカー部の変形挙動

兵庫県南部地震により損傷したアンカーを写真-1に示す。この写真から、アンカーボルト自体が伸びているのがわかる。被災した鋼製橋脚の復旧工事において、伸びたアンカーボルト頭部のナットを締め直したという報告がある。本研究では、このアンカーボルト



写真-1 アンカーボルトの被害事例¹⁾

（図-1 参照）を塑性化させることにより橋脚の耐震性を向上させることを考えた。具体的には、アンカーボルトの伸び（塑性変形）からアンカーフレームにガタが生じ、そのガタによってアンカーフレーム（基礎側）から橋脚への地震力（橋脚に作用する慣性力）が低減できるというものである。なお、レベル2地震動では、アンカーボルトの塑性化は許容していないため、超過作用のときだけアンカーボルトを塑性化させるようにアンカーボルト径等を決定する必要がある。

3. 解析モデルおよび解析条件

研究対象は、コンクリートが充填された円形断面鋼製橋脚を有する3径間連続鈑桁橋である。その鈑桁橋から中間橋脚を取り出して、図-2(a)は、通常行われる方法でモデル化した橋脚（+フーチングの一部）である。これに対して、本検討ではアンカーボルトの塑性化を表現するため、同図(b)のようにモデル化した。アンカーボルトの軸力と伸びの特性を、図-3のようにモデル化し塑性化を考慮している。この図からわかるように、一旦、降伏して伸びると元にもどらない。逆載荷した後に再載荷する場合は、直前の除荷したラインを通ることになる（コンクリートの圧縮側の弾塑性モデルと同様）。橋脚の充填コンクリートは、図-2(c)に示すようにファイバーモデルでモデル化した。材料構

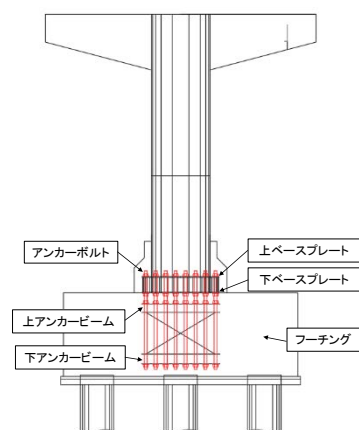


図-1 鋼製橋脚とアンカーボルト

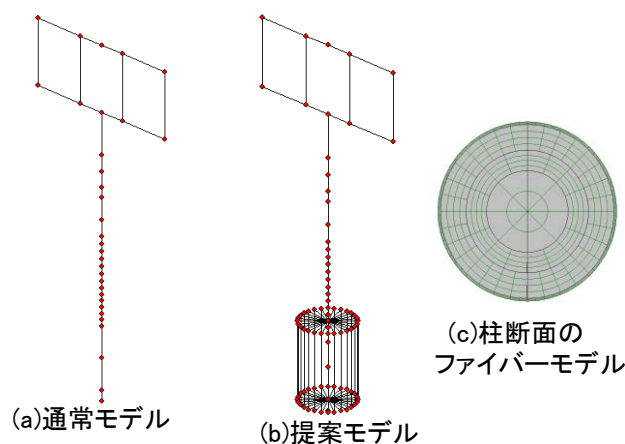


図-2 解析モデル

キーワード アンカーボルト、超過作用、CFT 柱、耐震性能向上
連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

成則は、文献2)で提示されている標準的なものを使用した。

本研究では、アンカーボルトをモデル化しない（塑性化しないモデル：通常モデル）と塑性化させるモデル（提案モデル）の2ケースについて検討する。解析の種類は材料非線形性と幾何学的非線形性を考慮した地震応答解析とし、入力地震動は道示標準波形（レベル2地震動，タイプⅠ，Ⅱ種地盤）³⁾を用いて，超過作用としてその波形を3倍して両モデルに作用させた。

4. 解析結果

両モデルの橋脚天端の応答変位を図-4に示す。最大応答変位は，両モデルともほぼ同じであるが，同図(b)の提案モデルが通常モデルと比べて，変位の繰り返しの周期が少し大きくなっている（通常モデルが小刻みに繰り返し時間がたまって揺れているのに対して，提案モデルの方が少しゆっくり振動している）。地震後の残留変位については，提案モデルの方が通常モデルより約半分に小さくなっている。また，橋脚基部の鋼断面部の応力－ひずみ関係を示したのが，図-5である。この図から，両モデルとも塑性化しているが，提案モデルの応答ひずみが通常モデルより約7割程度に小さくなっていることがわかる。以上から，提案モデル（アンカーボルトを塑性化）にすることで耐震性が向上したといえる。

ここで，両モデルでこのような差が現れた理由について考察する。アンカーボルトの軸力と伸びの関係を示したので，図-6である。この図から，アンカーボルトが引張側で降伏し28mmまで伸びていることがわかる。アンカーボルトの軸力および伸びの時刻歴応答を示したのが，図-7,8である。これらの図から，最大応答付近まではアンカーボルトの軸力と伸びが発生し，それ以降は，アンカーボルトの伸びだけが発生していることになる。これは，アンカーボルトが塑性化して伸びた（ゆるんだ）からである。ちょうど前述した写真-1の状態に近いと思われる。このゆるみにより，橋脚全体の周期が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

両モデルの鋼製橋脚に対して，超過作用の地震動を作用させた地震応答解析の結果，アンカーボルトを塑性化させることにより，橋脚基部の応答ひずみが約7割に減少し残留変位も約半分になり，耐震性が向上したことが確認できた。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会：鋼構造物の安全性の調査報告，1995。
- 2) 土木学会：2018年制定 鋼・合成構造標準示方書 耐震設計編，丸善，2018。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V.耐震設計編，丸善，2017。

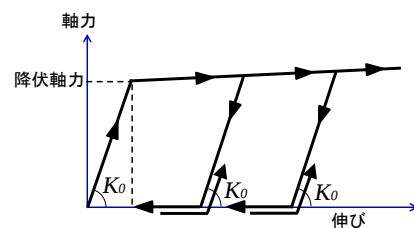


図-3 アンカーボルトの特性

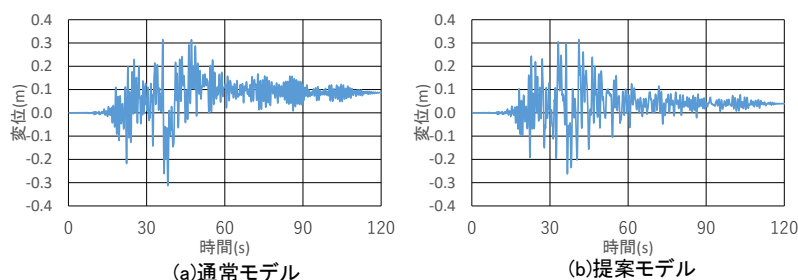


図-4 柱天端の応答変位

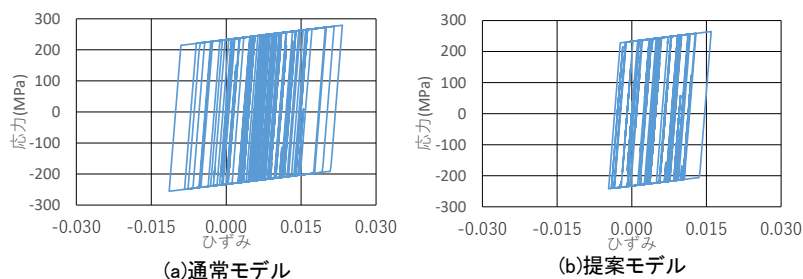


図-5 柱基部鋼断面の応力－ひずみ関係

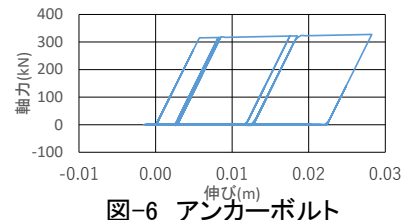


図-6 アンカーボルト

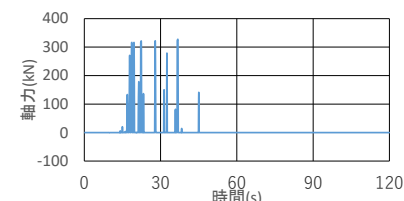


図-7 アンカーボルトの軸力

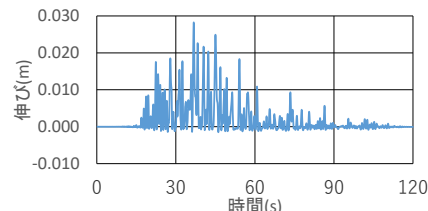


図-8 アンカーボルトの伸び