

地震時における鋼製橋脚隅角部の負荷集中に関する感度解析

東北大学大学院	学生員	○野村 和達
東北大学大学院	正会員	田村 洋
東北大学大学院	正会員	池田 清宏

1. はじめに

現在日本では、重量の軽さや優れた変形性能による耐震性能、コンクリート橋脚に比べて設計の自由度の高さから用地制限の厳しい場所にも対応し得ることなどの利点から、都市部をはじめとして多くの鋼製橋脚が造られている。しかし、1995年の兵庫県南部地震で、鋼製橋脚の隅角部において図1に示すような地震時脆性破壊と呼ばれる、塑性変形をほとんど伴わず急激に耐荷力が低下する破壊形態が確認された。この破壊は、せん断遅れにより高い荷力が発生する溶接部を起点とするもので、現行の道路橋基準でも考慮されていない。特に、断面形状や板厚の違いがせん断遅れによる負荷状態に与える影響は未だに解明されていない。そこで本研究では、鋼製橋脚隅角部の構造諸元とせん断遅れによる溶接部の発生負荷の関係を明らかにし、どのような隅角部において地震時脆性破壊が発生する危険性が高いかを評価することを目的とする。発生する負荷のうち、着目するパラメータは相当塑性ひずみと応力三軸度とし、これらを解析的に検討することで構造諸元の違いがせん断遅れによる負荷状態に与える影響をFEM解析を用いて解明する。



写真-1 地震時脆性破壊発生状況

2. 地震時の局部負荷状態のズームング解析

箱断面鋼製橋脚が地震時に受ける変形状態をズームング手法により橋脚全体系、隅角部、溶接止端部へ引き継ぐことで詳細に再現し、その変形により隅角部の溶接止端部に生じるひずみや多軸応力状態を評価する。溶接止端部に発生するひずみや多軸応力度に影響すると考えられる要因として、鋼種・断面形状・板厚の3つについて汎用解析コードAbaqusを用いて検討を行った。対象とした橋脚を図2に、解析に用いたモデルを図3に示す。まず、地震時の橋脚全体の動きを調べるために橋脚全体モデルに対して固有値解析を行う。得られた橋脚の固有モードを変位として与えることにより、地震時の負荷状態を再現した。そして、そのとき隅角部に生じる断面力を求め、実際に用いられている設計指針をもとに照査を行い、限界状態となる変位を求める。

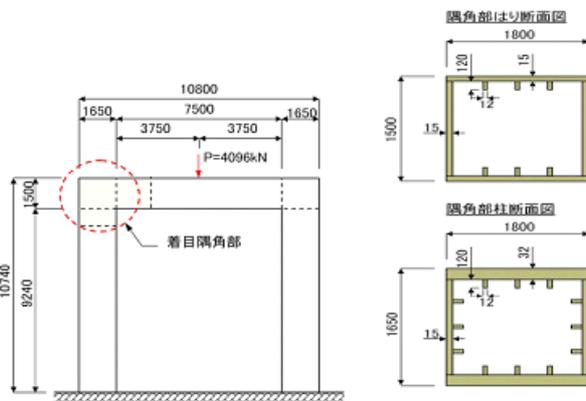


図-1 対象橋脚¹⁾

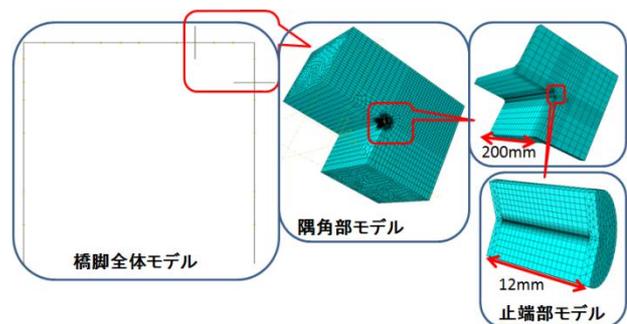


図-2 ズームング解析に用いたモデル

キーワード 鋼製橋脚隅角部, 地震時負荷, 地震時脆性破壊, ズームング解析

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科

数理システム設計学研究室 TEL 022-795-7419

照査は、それぞれの施工要領・設計基準に基づき、柱のウェブのせん断応力と合成応力に対して行った。さらに隅角部モデル、止端部モデルへと固有モードから得られた変位を引き継ぎ、溶接止端部に生じるひずみや多軸応力状態を調べ、与えた変位による隅角部の開き具合を表す「隅角変位」と限界変形状態の変位を1としてその何倍の変形状態かを表す「限界変形量に対する倍率」という2つのパラメータにより整理した。

3. 隅角部の構造諸元とせん断遅れの影響

まず、隅角変位を用いて相当塑性ひずみと応力三軸度について整理した結果、鋼種の影響については、許容引張応力の大きなものほど生じるひずみが小さくなった。これは、溶接材自体の応力-ひずみ関係により、許容引張応力の小さな鋼材ほど先に降伏して塑性化が進行し大きな相当塑性ひずみが発生したためと考えられる。断面形状の影響については、図4に示すように、フランジの幅が大きい場合ほど溶接止端部に生じる相当塑性ひずみが低減された結果となった。また、フランジの板厚が大きい場合においても低い相当塑性ひずみが示された。これは、せん断遅れの影響により溶接止端部の負荷が軽減したためと考えられる²⁾。

4. 現行の隅角部の耐震性照査とせん断遅れの影響

限界変形量に対する倍率を用いて相当塑性ひずみと応力三軸度について整理した結果、鋼種の違いにより発生する相当塑性ひずみは隅角変位で整理した場合の逆の結果となった。これは、許容引張応力の大きな鋼材ほど設計上限界とする変位が大きくなるため、高いひずみを伴うからである。断面形状については、フランジの幅を大きくすると発生する相当塑性ひずみが緩和された。板厚についてはフランジの板厚を大きくすると相当塑性ひずみは緩和され、ウェブの板厚がフランジの板厚に対して大きくなると、相当塑性ひずみは急激に増加した。これは兵庫県南部地震で実際に脆性破壊を引き起こした隅角部にも当てはまる特徴であった。また、断面形状・板厚ごとの止端部に生じた相当塑性ひずみを比較する。フランジ幅を1.5倍したモデルとフランジ厚を約1.5倍したモデル、フランジ幅を1.25倍したモデルとフランジ厚を約1.25倍したモデルは同程度の断面積であり、図5から発生する相当塑性ひずみも同程度となることから、せん断遅れの影響により止端部に生じる相当塑性ひずみは、弾性論から導かれる応力¹⁾²⁾と同様、板の断面積と深く関わっていることが確認された。

5. 結論

ブーミング解析の結果として、使用鋼材の応力-ひずみ関係により発生する相当塑性ひずみに有意な差が生じること、ウェブの断面積がフランジの断面積に対して大きな隅角部をもつ橋脚は止端部に高い相当塑性ひずみが発生するため、地震時脆性破壊発生リスクの評価や補強対策を優先的に講じるべきであると考えられる。

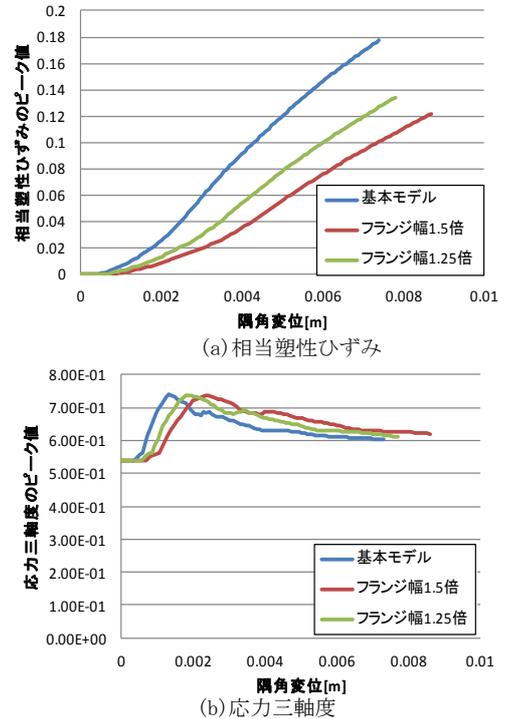
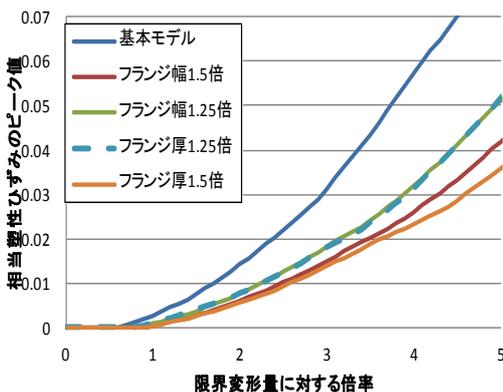


図-3 隅角変位で整理した断面形状の影響



参考文献

- 1) 奥村敏恵, 石沢成夫: 薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について, 土木学会論文集, No.153, pp. 1-18, 1968. 5
- 2) 中井博, 酒造敏廣, 橋本良之, せん断遅れ現象を考慮した鋼製ラーメン隅角部の限界状態設計法について, 土木学会論文集, No. 455, I-21, pp95-104, 1992. 10
- 3) 玉越隆史, 中州啓太, 石尾真理, 木内耕治: 道路橋の鋼製橋脚隅角部の疲労設計法に関する研究 - 一定せん断流パネルを用いた解析法の検討 -, 国土技術政策総合研究所資料, No.296, 2006, 1