

鋼製ラーメン橋脚隅角部の耐震補強に関する解析的研究

九州工業大学 学生会員○鬼木 浩二 九州工業大学 正会員 山口 栄輝
九州工業大学 正会員 久保 喜延

1. はじめに

近年、鋼製ラーメン橋脚隅角部に溶接欠陥や疲労亀裂が少なからず発見され、補修・補強方法が検討されている。都市内高速道路の橋脚では、隣接構造物との距離が非常に小さい場合もあり、建築限界との兼ね合いで、補強方法に制限が加わることも多い。ここでは、鋼製ラーメン橋脚面内にすべての補強材を納めなければならない場合を想定し、その隅角部補強方法が鋼製ラーメン橋脚の耐震特性に及ぼす影響を検討する。

2. 解析方法

解析対象構造は、図-1に示す柱高さ20m、長さ17mの門型の鋼製ラーメン橋脚である。柱部材が円形断面、梁部材が補剛箱型断面で、橋脚基部から6mの高さまでコンクリートが充填されている。この橋脚では隅角部に疲労亀裂が発生しており、建築限界からすべての補強材はラーメンの面内に収める必要があると想定する。この場合の補強対策として、2つの構造(図-2, 3に示す類杖補強モデルとトラス補強モデル)を取り上げる。従って、ここでは、図-1の基本ラーメン構造に加え、図-2, 3に示す計3つのモデルの解析を行う。

なお、本来のラーメン構造の鋼材はSM490、補強部材の鋼材はSM400とし、減衰定数は0.01でRayleigh減衰を用いる。鋼材の構成則には2次勾配が $E/100$ (E :ヤング率)のバイリニア移動硬化則を用いる。充填コンクリートの圧縮強度は 160kgf/cm^2 、終局圧縮ひずみ(ϵ'_{cu})は0.0035、構成則は文献¹⁾で提案された構成則をベースとした曲線でモデル化している。

入力地震波は、JR西日本鷹取駅で観測されたNS成分(JRT-NS)とする。解析ソフトにはY-FIBER3Dを用い、材料非線形のみならず、幾何学非線形性も考慮して解析を行う。補強部材は死荷重を負担しないものとする。

3. 解析結果と考察

3.1 地震時応答解析による検討

図1~3の黒く塗った部分(A~E)のひずみに着目する。解析結果として、部材A, Bにおけるひずみの時刻歴応答を図-4, 5に示す。また各部材における最大圧縮ひずみと終局(降伏)ひずみの比を表-1に示す。

既設構造(補強前の構造)では、かなり大きなコンクリートひずみが生じるなど、耐震性に問題がある。しかしながら、図-4からわかるように、部材Aのひずみは、既設構造に比べると、類杖補強で67%、トラス補強で74%も低下する。さらに図-5から、部材Bのひずみは、既設構造に比して、類杖補強で26%、トラス補強では66%も低下し、特にトラス補強が効果的である。しかしながら、トラス補強においても、部材Bのひずみは終局ひずみを超えており、十分な耐震性能を有しているとは考えられない。

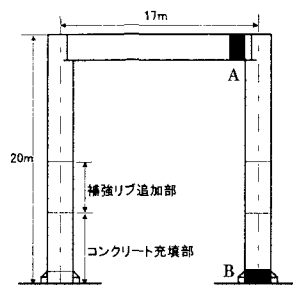


図-1 既設構造モデル

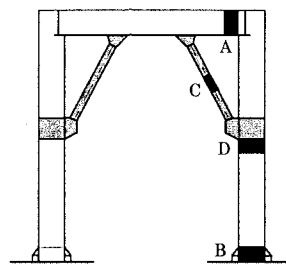


図-2 類杖補強モデル

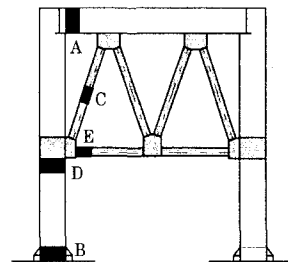


図-3 トラス補強モデル

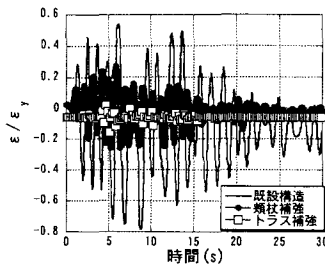


図-4 ひずみの時刻歴応答(部材A)

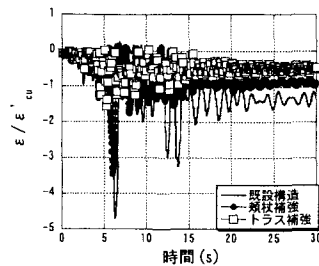


図-5 ひずみの時刻歴応答(部材B)

表-1 最大圧縮ひずみと終局(降伏)ひずみの比

解析ケース	A (ϵ/ϵ_y)	B (ϵ/ϵ'_{cu})	C (ϵ/ϵ_y)	D (ϵ/ϵ_y)	E (ϵ/ϵ_y)
既設構造	-0.780	-4.695			
頬杖補強	-0.259	-3.464	-1.333	-12.343	
トラス補強	-0.200	-1.576	-0.857	-3.083	-1.128

3.2 座屈拘束ブレースによるひずみ低減効果の検討

トラス補強でも、まだ耐震性能が十分ではないため、トラス部材を座屈拘束ブレース²⁾に代えて検討を行うこととした。座屈拘束ブレースは拘束材で全体座屈を拘束し、ブレースのエネルギー吸収を格段に向上させるものである。ただし、座屈拘束ブレースが有効に機能するための降伏軸力 N_y 、伸び剛性 EA の大きさについての明確な指針はない。そこで、座屈拘束ブレースの降伏軸力、伸び剛性をパラメータとし、原部材の値、その 1/2、1/4 の値の計 3 種類を与えて時刻歴応答解析を実施した。降伏軸力、伸び剛性の両方に 3 つの値を与えるため、その組み合わせとして 9 種類の解析を行い、応答値を比較した。

解析結果として、部材 B、D における最大圧縮ひずみと終局(降伏)ひずみの比をそれぞれ表-2、3に示す。表-2においては、ブレース材の降伏軸力を下げると部材 B のひずみが低下する傾向が見られる。降伏軸力を 1/4 倍にした場合では、いずれの伸び剛性においても、終局ひずみに達することはなかった。一方、表-3より、降伏軸力を 1/4 倍にして、伸び剛性を下げると部材 D のひずみが増加する傾向が認められる。これらのことより、降伏軸力を原部材の 1/4 倍、伸び剛性は原部材と同じにしたブレース材が耐震性向上に最も効果的であると考えられる。

表-2 最大圧縮ひずみと終局ひずみの比(部材B)

EA \ N_y	1倍	1/2倍	1/4倍
1倍	-1.576	-0.942	-0.681
1/2倍	-1.403	-1.283	-0.658
1/4倍	-1.091	-0.996	-0.729

表-3 最大圧縮ひずみと降伏ひずみの比(部材D)

EA \ N_y	1倍	1/2倍	1/4倍
1倍	-3.083	-2.040	-2.256
1/2倍	-2.339	-2.273	-2.685
1/4倍	-3.103	-3.216	-3.203

4. まとめ

- ・ 解析対象の鋼製ラーメン橋脚の耐震性能は十分でない。
- ・ 頬杖補強よりも、トラス補強の方が耐震性能を向上させる。
- ・ トラス補強においても、コンクリートの破壊は懸念される。
- ・ 座屈拘束ブレースの導入により、耐震性能は向上する。その度合いは、座屈拘束ブレースの降伏軸力、伸び剛性に依存し、この鋼製ラーメン橋脚では、降伏軸力を元のトラス部材の 1/4 倍、伸び剛性は元のトラス部材と同じにした場合が最も効果的である。

<参考文献>

- 1) 耐震設計 WG: 鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術, 土木学会(鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会), 1996.
- 2) 鋼橋の性能照査型耐震設計法検討委員会: 土木鋼構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策, 日本鋼構造協会, 2003.