

鋼製ラーメン橋脚の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。これまで、隅角部の補強方法として当て板が多く採用されているが、この補強方法は隅角部に作用する応力を低減させるものの、必ずしも耐震性を向上させるものではない。そこで本研究では、隅角部の作用応力低減のみならず、耐震性も向上させる補強方法について検討する。

2. 解析方法

解析対象構造は、図 - 1 に示す柱高さ 20m、梁長さ 18m 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た場合を想定し、その場合の補強対策として、2つの構造（図 - 2, 3 に示す方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 16N/mm^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 を使い、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。

基本ラーメン構造 (補強前の構造) では、かなり大きなひずみがコンクリートに生じるなど、耐震性に問題がある。しかしながら、図 - 4 から分かるように、部材 A のひずみは、基本構造に比べると、方杖補強で 61%、トラス補強で 76% も低下する。図 - 5 から、部材 B のひずみは、基本構造に比して、方杖補強で 19%、トラス補強では 63% も低下し、特にトラス補強が効果的であると考えられる。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。

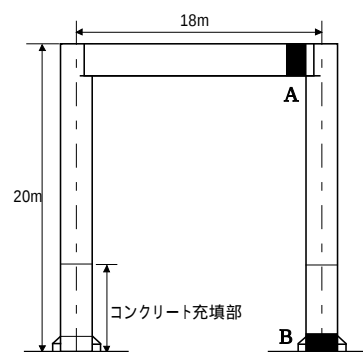


図 - 1 基本ラーメン構造モデル

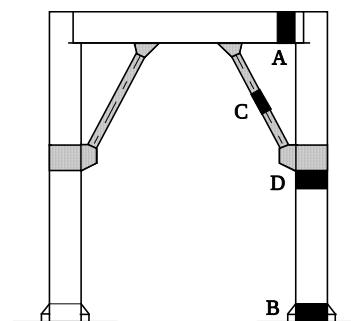


図 - 2 方杖補強モデル

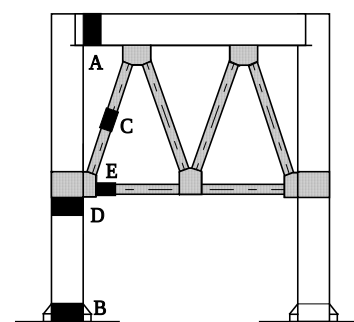


図 - 3 トラス補強モデル

キーワード：鋼製ラーメン橋脚，隅角部，耐震性能，地震応答解析，座屈拘束ブレース

連絡先： 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1 番 1 号 Tel. 093-884-3110 Fax. 093-884-3100

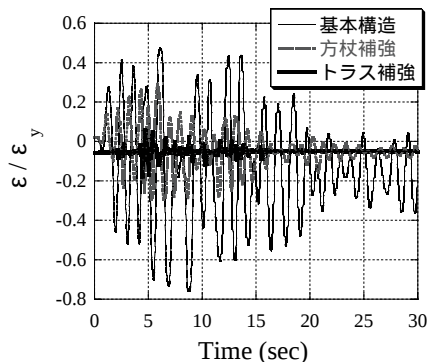


図 - 4 ひずみの時刻歴応答 (部材A)

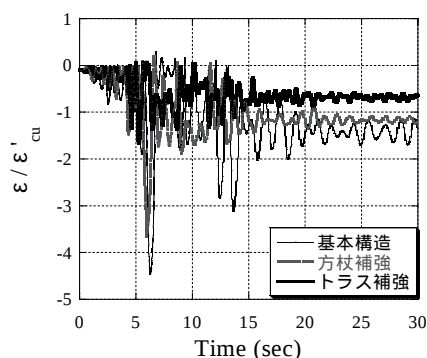


図 - 5 ひずみの時刻歴応答 (部材B)

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 ($\varepsilon/\varepsilon_y$)	B ($\varepsilon/\varepsilon'_{cu}$)	C ($\varepsilon/\varepsilon_y$)	D ($\varepsilon/\varepsilon_y$)	E ($\varepsilon/\varepsilon_y$)
基本構造	-0.759	-4.474			
方杖補強	-0.296	-3.629	-1.180	-12.513	
トラス補強	-0.183	-1.646	-0.794	-4.379	-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)

$EA \backslash N_y$	1倍	1/2倍	1/4倍
1倍	-1.646	-0.951	-0.646
1/2倍	-1.390	-1.170	-0.681
1/4倍	-1.050	-1.120	-0.726

表 - 3 最大圧縮ひずみと降伏ひずみの比 (部材D)

$EA \backslash N_y$	1倍	1/2倍	1/4倍
1倍	-4.379	-2.630	-3.150
1/2倍	-3.100	-3.000	-3.650
1/4倍	-4.480	-5.050	-3.860

4 . まとめ

隅角部の変形について

- ・ 補強することによって、隅角部のひずみが低減する。

鋼製ラーメン橋脚の耐震特性について

- ・ 基本ラーメン構造（補強前の構造）の耐震性能は十分でない。
- ・ 方杖補強よりも、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, 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, 2003.