

地震動の入射角を考慮した橋梁の耐震性能評価

垣内辰雄¹・葛西 昭²・岩下元輝³・宮崎幸平⁴

¹正会員 工修 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 土木設計部（〒532-0011大阪市淀川区西中島5-4-20）

²正会員 博（工学） 熊本大学大学院 准教授 自然科学研究科（〒860-8555熊本市黒髪2-39-9）

³熊本大学 工学部 社会環境工学科（〒860-8555熊本市黒髪2-39-9）

⁴正会員 熊本市 農水商工局（〒861-5521熊本市鹿子木町66）

1. 緒言

本研究は、地震動の入射方向が橋梁の地震時応答に及ぼす影響について、数値解析的な検討を行ったものである。橋梁の耐震検討においては、橋軸方向と橋軸直角方向それぞれに地震動を入力し、耐震性能を評価することが一般的である。しかし、実際の地震動は構造物の任意の方向から入射されることから、高次不静定な構造物の場合、橋軸方向と橋軸直角方向以外に、弱点となる角度が存在する可能性がある。まず、対象橋梁とした上下部一体鋼ラーメン高架橋に任意の角度から地震動を入射し、角度別の応答変位特性を明らかにする。続いて、着目した柱の有効破壊長領域におけるひずみと終局ひずみと比較することで、構造物の耐震性能を評価する。最後に、地震動の入射角を考慮した耐震性能評価方法について述べる。

2. 設計条件と解析モデル

対象橋梁の設計条件を表-1に示す。構造形式は上下部一体構造を有する4径間鋼ラーメン高架橋である（図-1）。解析モデルは、はり要素であり、詳細については文献 1)を参照されたい。ただし、本研究では、解析時間の制約等から、杭基礎部分は解析領域から除外した。また、地震応答解析における鋼材の材料構成則は、バイリニア型移動硬化則を使用した。

入力地震動は、鉄道構造物等設計標準 2)で規定されている L2 地震動スペクトルⅡの直下型地震動を用いた。なお、本研究では純粋な挙動を確認するために、速度項に関する粘性減衰は考慮していない。

3. 地震動の入射方向による応答変位特性

対象橋梁はL2地震動の動的解析により、P2橋脚右柱がクリティカルとなる。このことから、P2橋

表-1 設計条件

構造形式	4径間鋼ラーメン高架橋
支間長	183.4m
支間	39.2m+40.0m+52.5m+51.7m
桁幅	11.8m
桁高	2.8m

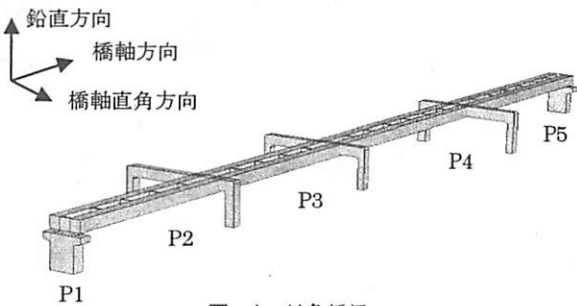


図-1 対象橋梁

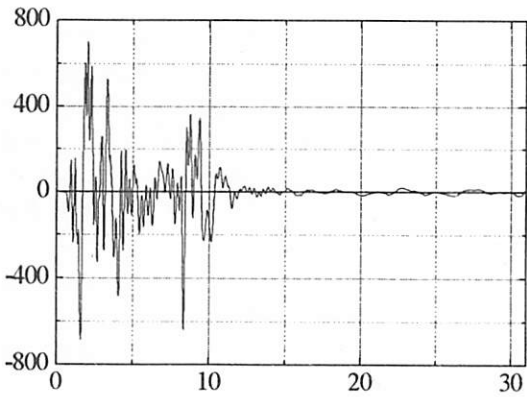
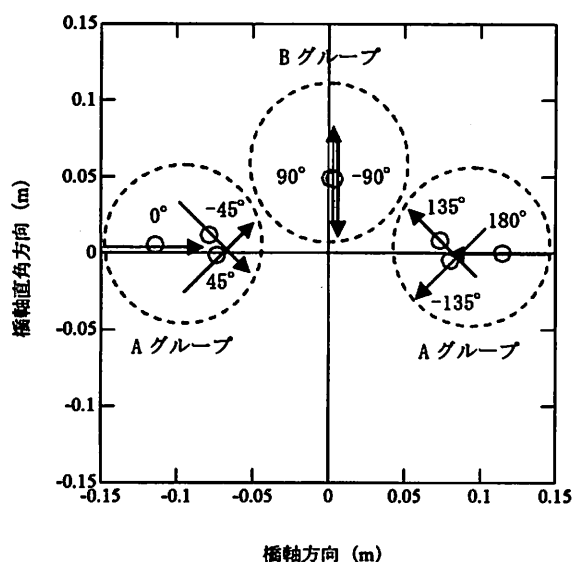
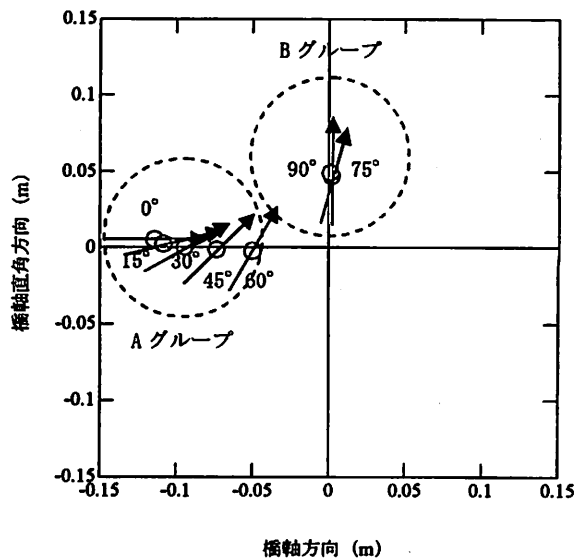


図-2 L2地震動スペクトルⅡ

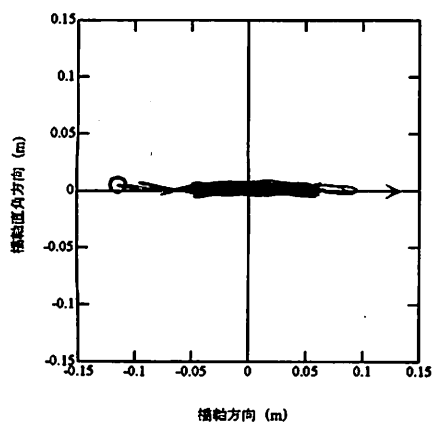


(a) $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ (45° 毎)

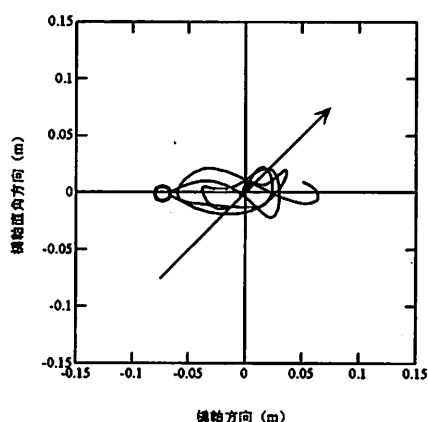


(b) $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ (15° 毎)

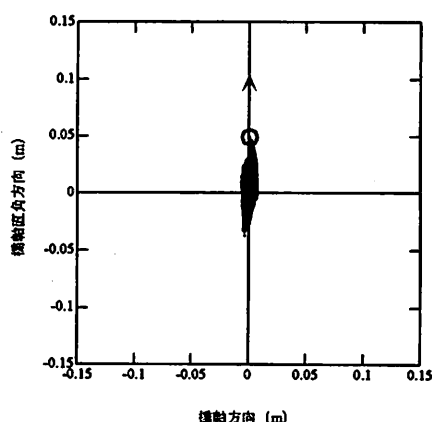
図-3 入射方向別の最大応答変位



(a) 橋軸方向 0°



(b) 45° 方向



(c) 橋軸直角方向 90°

図-4 入射方向別の応答変位

脚右柱を着点として、以下に地震応答変位特性について述べる。対象橋梁に 45° 毎に8方向の地震動を入射し、最大応答変位を求める。図-3に角度毎の橋軸方向と橋軸直角方向の最大応答変位を示す。対象橋梁の応答変位特性として、橋軸方向に反応する $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、 $-135^{\circ} \sim 135^{\circ}$ のAグループと、橋軸直角方向に反応する 90° と -90° のBグループに分けることができる。この両グループの境界を探るために、 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の間を 15° 毎に地震動を入射し最大応答変位を求め、橋軸方向と橋軸直角方向の応答変位特性を確認することとした。

図-3に示すとおり、橋軸方向に反応するAグループと、橋軸直角方向に反応変位するBグループの境界は、 60° と 75° の間に存在する。ここでP2橋脚右柱上端部において、地震入射角毎の最大応答変位は、橋軸方向に入射した 114mm である。なお、

橋軸直角方向の地震動の場合、最大応答変位は 49mm である。代表的な地震動の入射角として図-4に、(a)橋軸方向 0° 、(b) 45° 方向、(c)橋軸直角方向 90° の応答変位を示す。これらの結果より、対象橋梁は地震動を様々な方向から受けても、文献¹⁾の固有値解析にも示されるとおり、橋軸方向に反応する構造であることが示された。

4. 入射角毎の耐震性能評価

ここでは、橋脚の基部の有効破壊長領域において、図-5に示す積分点のひずみを用いて照査する。①～⑤はP2右柱P1側ウェブ、⑤～⑨はP2右柱主桁側フランジ、⑨～⑬はP2右柱P3側ウェブ、⑬～⑰はP2右柱外側フランジである。ここで終局ひずみ³⁾は、式(1)を用いている。

表-2 入射角とひずみ関係 (0~90°)

	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
積分点	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	①	⑥
最大ひずみ $\varepsilon_{max}/\varepsilon_y$	-5.59	-5.36	-4.41	-2.95	-1.81	-1.50	-1.42
終局ひずみ $\varepsilon_u/\varepsilon_y$	-20.00	-20.94	-19.29	-18.22	-17.47	-17.12	-19.28
$\varepsilon_{max}/\varepsilon_u$	0.28	0.26	0.23	0.16	0.10	0.09	0.07

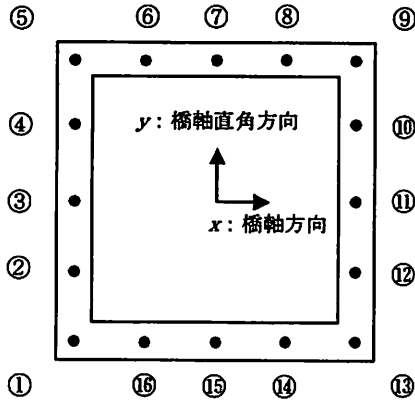


図-5 ひずみ抽出箇所

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = \frac{0.24}{(R_f \bar{\lambda}_s^{0.18} - 0.168)^{1.3} (1 + N/N_y)^{2.2}} + \frac{3.2}{(1 + N/N_y)} \leq 20.0$$

$$0.2 \leq R_f \leq 0.7, \gamma/\gamma^* \geq 1.0, 0.0 \leq N/N_y \leq 0.5 \quad (1)$$

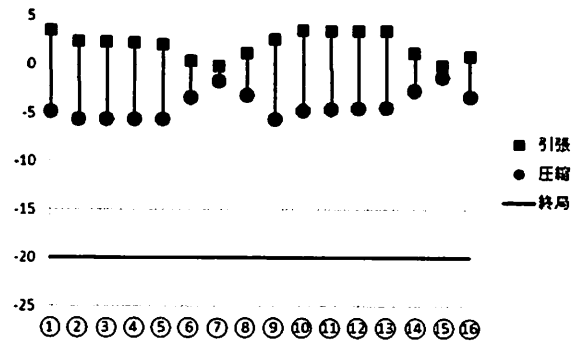
この終局ひずみは、軸力によって変化する値である。ここで、 R_f : 圧縮フランジの幅厚比パラメータ、 $\bar{\lambda}_s$: 補剛材細長比パラメータ、 N : 軸力、 N_y : 降伏軸力、 γ^* : 補剛材剛比、 γ^* : 圧縮補剛板の最適剛比である。

表-2 に 0° ~ 90° の有効破壊長領域のひずみと終局ひずみの比 $\varepsilon/\varepsilon_u$ の最大値を示す。各ひずみの値は降伏ひずみ ε_y で無次元化している。地震動の入射角がいずれの角度においても、柱のコーナー部のひずみが大きい。これらのひずみ照査の結果、橋脚基部は耐震性能を満足している。

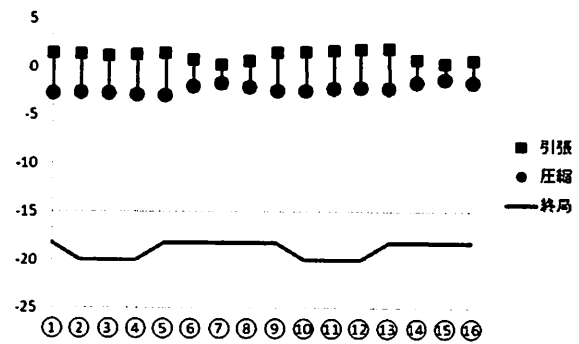
代表的な地震動の入射角として図-6 に、(a)橋軸方向 0°、(b)45° 方向、(c)橋軸直角方向 90° のひずみ照査の結果を示す。これらより対象橋梁は、橋軸方向より橋軸直角方向の耐震性能が高い構造形式であると言える。

5. 結言

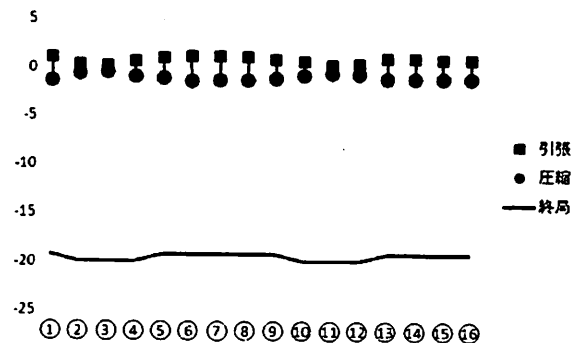
本研究では、地震動の入射方向が橋梁に及ぼす影響について、はり要素を用いた地震応答解析を実施



(a) 橋軸方向 0°



(b) 45° 方向



(c) 橋軸直角方向 90°

図-6 ひずみ照査

し、地震入射角毎の最大応答変位とひずみ照査を実施した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 地震動の入射角毎の最大応答変位より、対象橋梁は、橋軸方向に応答特性がある。橋軸方向と橋軸直角方向の応答特性の境界は、 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ の間に存在する。
- (2) 地震動の入射角毎のひずみ照査を行った結果、対象橋梁の耐震性能は、橋軸方向より橋軸直角方向の方が高い。全ての入射角において最大ひずみは、柱コーナー部で発生しており、これは対象橋梁が、橋軸方向に応答する構造であるためと考えられる。
- (3) 本構造のような高次不静定構造物の場合、ごく数箇所が局部座屈しても耐力低下が起こらない

ことがあり得る。そこで今後の課題として、局部座屈の発生が想定される柱基部をシェル要素でモデル化した解析や実験の実施が必要と考えている。

参考文献

- 1) 垣内辰雄，葛西 昭，稲垣冨城，藤原良憲，宇佐美勉：上下部一体鋼ラーメン高架橋の耐震性能評価，構造工学論文集 Vol.55A, pp. 564-572, 2009.
- 2) 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計，丸善，1999.
- 3) 宇佐美勉編著：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版，pp.59, 2006.9.