

機関番号：32704
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560451
 研究課題名（和文） 巨大長周期地震動を受ける鋼製橋梁の動的耐荷性能評価と動的設計法の開発
 研究課題名（英文） Cyclic Load Bearing Performance of Steel Bridge subjected to Huge Long-Period Earthquake
 研究代表者
 北原 武嗣（KITAHARA TAKESHI）
 関東学院大学・工学部・教授
 研究者番号：00331992

研究成果の概要（和文）：海溝型巨大地震のような長周期・長継続時間地震波を受ける鋼製橋梁の耐震性能の把握が重要である。そこで、都市高速に多用されている鋼製橋脚を対象とし、ハイブリッド実験、静的繰返し載荷実験および FEM 非線形解析により、最大耐力履歴後の数十回に及ぶ繰返し変位による耐力低下を検討した。その結果、最大荷重履歴後、初等はり理論で弾性範囲と考えられる数十回に及ぶ変位載荷により、耐力は 10%程度低下する可能性のあることが分かった。また繰返し振幅範囲が大きいほど、繰返し数が多いほど耐力低下の割合が大きいことがわかった。

研究成果の概要（英文）：It is thought that the strong motions caused by huge ocean-trench earthquakes are long-period and long-duration time seismic waves. However, seismic performances of structures subjected to long-duration time seismic waves are not clear. In seismic design codes in Japan, there are no specific descriptions concerned with the seismic performance of structure subjected to long-duration time waves. Therefore, in this study, cyclic load carrying tests and a pseudo-dynamic test were carried out in order to investigate the cyclic load bearing capacity of steel bridge piers. Consequently, it is found that the load bearing capacity after the maximum load is decrease about 10% due to cyclic loading over 10times and that the cyclic loading history over 100 times are caused.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：耐震工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：耐震構造，海溝型地震，長継続時間，繰返し載荷，耐荷性能

1. 研究開始当初の背景

中央防災会議において、平成15年4月には東

海地震対策大綱が、平成15年12月には東南海地震、南海地震に対する防災対策推進地域が

設定されている。また、土木学会では、「巨大地震災害への対応検討特別委員会」が設置、検討が行われた状況下、巨大長周期地震動への備えが緊急課題となっている。

また、平成15年には、十勝沖地震が発生し、長周期地震動によると考えられる石油コンビナートの被害も発生している。さらに、近年、関東平野のような厚い堆積地盤において主要動以降に長周期の地震波が観測される例も示されている。このような状況のもと、巨大長周期地震動に対する耐震設計法を構築することは急務であった。

また、海溝型巨大地震では、上記のような長周期となるだけでなく数百秒におよぶ長い継続時間となることが懸念される。しかしながら、このような長周期かつ長い継続時間の地震波に対する橋梁構造物の耐震性能および耐震設計に関しては十分に考慮されていない状況であった。

2. 研究の目的

東海地震、東南海地震、南海地震等の海溝型巨大地震の発生が切迫している現状において、長周期かつ長継続時間地震動が社会基盤施設に与える影響を検討する必要に迫られている。長周期かつ長継続時間地震動による橋梁構造物の応答を考えると、主要動までの地震波で軽微な損傷を受けた後、長周期地震波により長時間の繰り返し加振を受けることになる。

この際の構造部材としての荷重-変形特性、特に、最大荷重付近での同一振幅を繰り返し受ける場合の耐力劣化・剛性劣化性状が地震時挙動に大きく影響すると考えられる。また、軽微な被害による固有周期の長周期化により、長周期地震動の卓越周期と共振範囲になる可能性も十分に考えられる。したがって、(1)長周期かつ長継続時間地震動による変位履歴をハイブリッド実験により検討する。(2)検討した変位履歴を模擬した載荷パターンによる静的繰り返し漸増実験によって、鋼製橋梁の耐力・剛性劣化性状を明らかにする。(3)FEM 複合非線形解析により、鋼製橋梁の耐力・剛性劣化のメカニズムを検討する。

ことが本研究の目的である。さらに、これらの影響を加味した動的耐震設計法に関しても検討を加えることも考慮する。

3. 研究の方法

(1)ハイブリッド実験・静的繰り返し載荷実験

①実験供試体

都市高速に一般的に用いられることの多い橋脚高さ11m程度の鋼製橋脚を想定し、約1/8

に縮小した実験供試体とする。耐荷力や変形性能に影響を及ぼすパラメータとして、補剛板パネル全体や縦補剛材間の板パネル等の幅厚比パラメータ、および細長比パラメータ等に着目し、これらが実物橋脚と実験供試体とで一致するように供試体寸法を決定した。断面寸法は供試体の断面高さ262mm、幅372mmとなった。また、補剛材寸法は、補剛材高さ21.5mm、板厚は6mmとした。橋脚の縮小モデルの構造諸元は断面積7,464mm²、降伏強度 σ_y 310.0 N/mm²、ヤング率 1.973×10^5 N/mm²、降伏水平耐力116.8kN、降伏水平変位8.6mmである。供試体の諸元を表-1に、座屈パラメータを表-2に示す。

表-1 構造諸元

断面積 (mm ²)	7464
断面2次モーメント (mm ⁴)	8678 × 10 ⁴
降伏強度 N/mm ²	307.3
軸力 N	2256 × 10 ²
脚長 mm	1572
ヤング係数 N/mm	2019 × 10 ²
降伏曲げモーメント N・mm	1835 × 10 ⁵
水平降伏耐力 N	1168 × 10 ²
水平降伏変位 mm	8.6

表-2 実験供試体の座屈パラメータ

R_F	R_R	R_S	$\bar{\lambda}$	γ / γ^*
0.615	0.539	0.198	0.362	0.676

②実験概要

既設鋼製橋脚の耐荷性状を検討するため、漸増繰り返し載荷実験を行った。図-1に実験装置を示す。

鉛直方向に最大荷重1000kN、ストローク100mmの定圧油圧ジャッキを用いて、実験供試体上部構造死荷重相当の軸力(降伏軸力の10%)を与えた。水平方向には、最大荷重500kN、ストローク±150mmのアクチュエーターを用いて変位制御で強制変位を与えた。変位測定において基部の回転を取り除くため、基部にアングル治具を取り付け測定した。

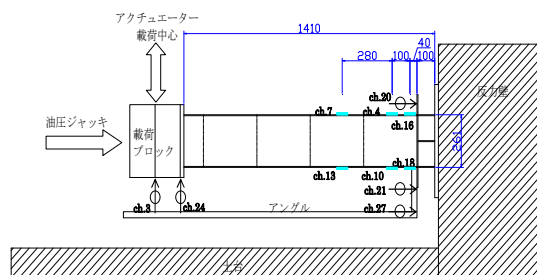


図-1 実験装置

ハイブリッド実験では、図-2 に示す東海地震を想定地震として作成した模擬地震波を150秒間入力した。この波は2.5秒付近に卓越周期を有している。

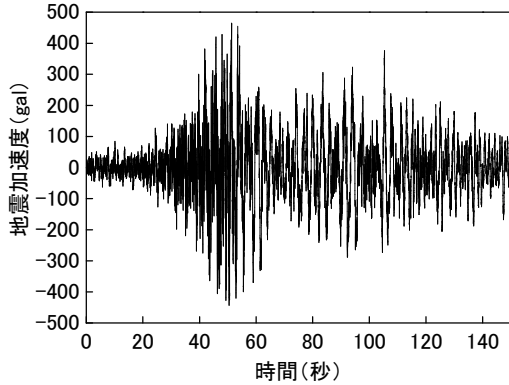


図-2 入力地震波形

③解析概要

既設鋼製橋脚の実験供試体(縮尺1/8程度)をモデル化し、FEM複合非線形解析を行った。図-3に解析モデルの全体図を示す。実験において局部座屈が生じた橋脚基礎に近いほどメッシュ分割を細かくしている。なお、リブおよびダイヤフラムもモデル化した。初期たわみを考慮し、境界条件は解析モデルの基部側を完全固定とし、6自由度拘束した。荷重は、解析モデル上部に軸力と強制変位を与えている。図-4に与えた荷重パターンを示す。これは、最大荷重を履歴後30回程度の弾性範囲(初等はり理論による弾性範囲)の繰り返し変位履歴を受けると考えたものである。

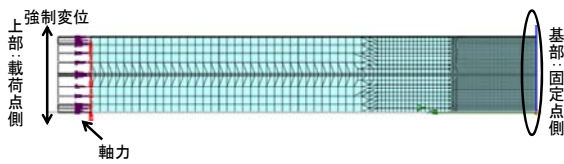


図-3 解析モデル全体

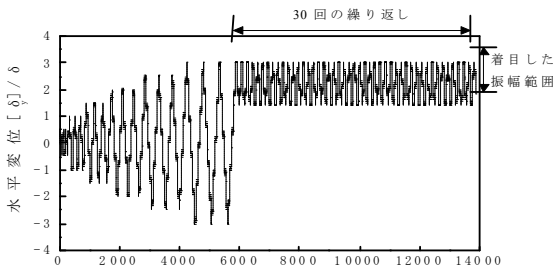


図-4 荷重パターン

4. 研究成果

①長周期・長継続時間地震波による変位履歴

ハイブリッド実験により得られた荷重-変位履歴を図-5に示す。この図より0~3δ_y程度の塑性領域に至る30回程度の繰り返し変位を受けていることがわかる。この結果から、最大荷重後の繰り返し変位振幅として図-4に示したような荷重パターンを設定した。

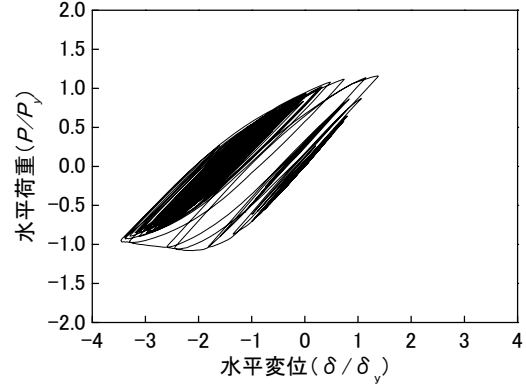


図-5 荷重-変位関係

②静的繰り返し荷重実験による耐荷性状

静的荷重実験において、図-4に示した荷重パターンとして振幅範囲を1.4δ_y、1.6δ_yおよび1.8δ_yの3ケースを考慮した。これは、弾性範囲の変位振幅の大きさが与える影響を検討するためである。

実験による荷重-変位関係において、30回の繰り返し荷重の開始時点と終了時点での最大荷重(耐力)の値に着目し、この値の低下率を検討した。検討した結果を図-7に示す。図から、変位振幅が大きくなるほど耐力の低下率が大きくなること、また繰り返し回数が増えるほど耐力の低下率が大きくなるのがわかる。変位振幅が最も大きい1.8δ_yのケースでは、30回の繰り返し履歴によって耐力が10%強低下している。

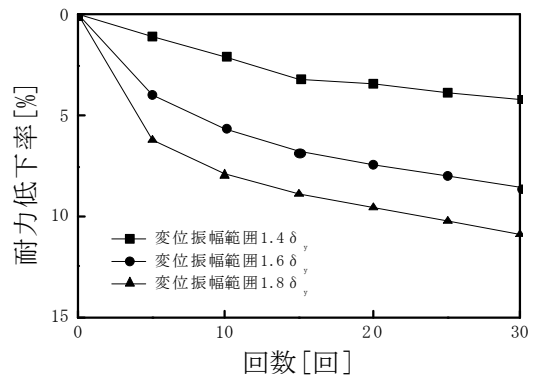


図-7 耐力低下率(実験)

③FEM複合非線形解析による検討結果

変異振幅範囲1.8δ_yのケースについて荷

重一変位関係を図-8に示す。図中、実線は繰返し載荷実験結果を、破線はFEM解析結果を示している。図-8より、解析結果は実験結果をおおむね再現していることがわかる。

つぎに、解析による耐力低下率を図-9に示す。この図より、解析による耐力低下の傾向と実験とはほぼ同様の傾向を示していることがわかる。ただし、絶対量は実験と解析では10倍程度の差が生じている。この原因説明は今後の課題であり、より詳細な解析による検討を行う予定である。

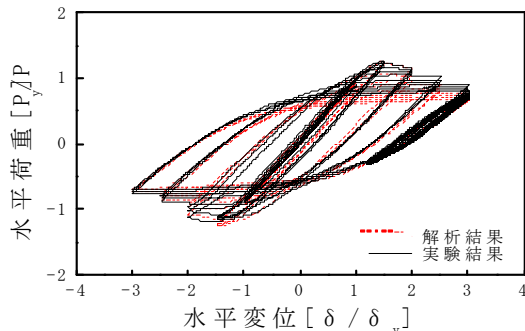


図-8 荷重一変位関係 (実験と解析の比較)

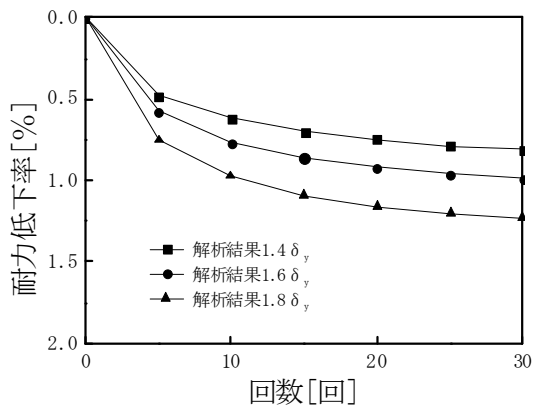


図-9 耐力低下率 (解析)

また、実験と解析による繰返し載荷後の変形性状を、それぞれ、写真-1と図-10に示す。どちらもフランジが凹、ウェブが凸となる局部座屈の生じていることがわかる。この局部座屈の進展が耐力低下に影響しているものと考えられる。



a) フランジ側 b) ウェブ側

写真-1 変形状 (実験結果)

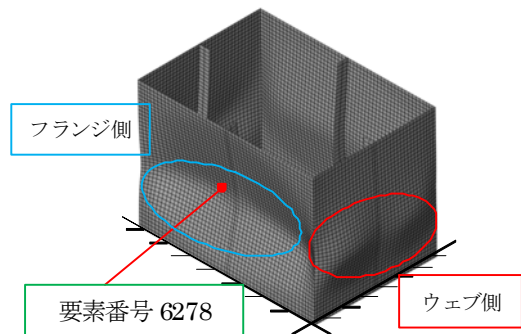


図-10 変形状 (解析結果)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① KITAHARA Takeshi, TANAKA Kentaro and YAMAGUCHI Takashi: Load Bearing Capacities of Steel Bridge Piers Subjected to Long-duration Time Motions, *Proceedings of 9th US national and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, 査読無, 2010, CD-ROM.
- ② 北原武嗣, 田中賢太郎, 山口隆司, 平口未帆, 下町和樹: 継続時間の長い地震を考慮した既設単柱式鋼製橋脚繰返し載荷実験, 第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 査読無, 2010, 41-44.
- ③ 田中賢太郎, 北原武嗣, 山口隆司, 吉田隆信, 平口未帆: ハイブリッド実験による既設単柱式鋼製橋脚の長継続時間地震時挙動, 第12回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 査読無, 2009, 239-242.
- ④ 田中賢太郎, 北原武嗣, 山口隆司, 吉田隆信: 長継続時間地震動を考慮した既設鋼製橋脚の耐荷性能の実験的検討, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol. 16, 2008, 291-296.
- ⑤ 吉田隆信, 北原武嗣, 田中賢太郎, 山口隆司: 長継続時間地震波入力を考慮した鋼製橋脚の繰返し耐荷性状実験, 研究報告, 関東学院大学工学部, 査読有, Vol. 52-1, 2008, 9-15.

[学会発表] (計 4 件)

- ① 平口未帆: 鋼製橋脚の数十回オーダ繰返し載荷実験と解析的検討, 2010年度関東学院大学工学部研究発表講演会,

- 2010年11月27日、関東学院大学金沢八景キャンパス（横浜市）。
- ② 平口未帆：既設鋼製橋脚の十回オーダー繰り返し耐荷挙動に関する解析的検討，土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会，2010年9月1日，北海道大学札幌キャンパス（札幌市）。
 - ③ 下町和樹：鋼製橋脚の数十回オーダー繰り返し耐荷性能実験，2009年度関東学院大学工学部研究発表講演会，2009年11月27日，関東学院大学金沢八景キャンパス（横浜市）。
 - ④ 平口未帆：継続時間の長い地震動を受ける既設鋼製橋脚の繰り返し載荷実験，土木学会平成21年度全国大会第64回年次学術講演会，2009年9月3日，福岡大学七隈キャンパス（福岡市）。

〔その他〕

平成22年度財団法人海洋架橋・橋梁調査会，橋梁技術に関する研究開発助成報告書，長継続時間地震動による鋼製橋脚の数十回繰り返し耐荷力評価，22頁。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北原 武嗣 (KITAHARA TAKESHI)
関東学院大学・工学部・教授
研究者番号：20560451

(2) 研究分担者

杉浦 邦征 (SUGIURA KUNITOMO)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70216307

山口 隆司 (YAMAGUCHI TAKASHI)
大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50283643

田中 賢太郎 (TANAKA KENTARO)
関東学院大学・工学部・助手
研究者番号：50529724
(H20：連携研究者)

(3) 連携研究者

()