

地震切迫度を考慮した RC 橋脚の耐震補強必要性の判定に関する基礎的検討

東北大学大学院 学生会員 ○猪股 右樹
東北大学大学院 学生会員 松崎 裕
東北大学大学院 正会員 秋山 充良
東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

旧規準で耐震設計された構造物(既存不適格構造物)は、現行規準に比べ設計地震力が小さく、また、部材降伏後の挙動を検討した設計がなされていないなどの理由により、現行規準で想定する兵庫県南部地震クラスの地震動が作用した場合には、望ましくない破壊モード(例えば、せん断破壊)を呈し、相当の損傷が生じると予想されている。全国に多数存在する既存不適格構造物の耐震補強を合理的に進めるためには、地域ごとの地震切迫度と対象構造物の耐震性能を考慮し、破壊可能性の大小から耐震補強の必要性を判断して補強構造物の抽出を行うべきである。補強構造物の抽出後には、構造物が持つ重要度やその破壊モードを勘案し、地震リスクなどの定量化された指標に基づき耐震補強優先度を順位付けていくことになる¹⁾。

本研究は、耐震補強優先度の順位付けの前段階となる耐震補強必要性の判断基準の提供を目的とした基礎的研究である。解析対象構造物は橋梁に限定し、耐震性能の異なる 3 基の単柱式 RC 橋脚を用意した。そして、地震切迫度を反映した地震ハザード曲線を用いて耐震信頼性解析を行い、我が国の代表的な 3 地点にある既存不適格橋梁の地震時破壊確率の値を比較する。

2. 地域特性を考慮した破壊確率の算定法

2.1 対象地域

本研究では、地震切迫度の異なる3地点を選定した。近い将来に発生が予想される東海・東南海地震の影響を受ける名古屋市、および宮城県沖地震の影響を受ける仙台市を選定した。これに対し、2003年に発生した十勝沖地震により、当面は大きな海洋型地震の発生がないと想定される十勝支庁も対象とした。なお、後述する地震ハザードの対象地点は、名古屋市と仙台市は市の中心部であり、十勝支庁は南部の広尾町周辺である。

2.2 解析対象 RC 橋脚

解析対象は単柱式RC橋脚(橋脚高さ:10m)である。橋脚は、震度法と地震時保有水平耐力法で耐震設計した。設計された橋脚は3基であり、震度法で耐震設計されたA橋脚、海洋型地震を設計地震力として地震時保有水平耐力法で耐震設計したB橋脚、B橋脚の設計地震力を兵庫県南部地震での観測波に変更したC橋脚である。新旧の道路橋示方書を参考に耐震設計したが、構造細目や構造性能の評価法を一部変更している。各橋脚の耐力や変形性能などの一覧を表-1に示す。

2.3 切迫度を考慮した地震ハザード曲線

本研究では、震源別に切迫度を考慮した地震ハザード曲線の公表を行っている地震ハザードステーション J-SHIS²⁾のデータを参照した。図-1 に示すのは、検討対象地域において最も影響の大きい海洋型地震の今後 30 年間のハザ

表-1 解析対象とした単柱式 RC 橋脚の諸元

Type	橋脚断面		靱性率	曲げ耐力 (MN)	曲げせん断耐力比	固有周期 (sec)	破壊モード※
	高さ (m)	幅 (m)					
A	2.2	3.6	3.4	3.15	0.65	0.63	S
B	2.8	3.4	3.6	5.64	2.21	0.59	M
C	3.0	3.5	9.2	5.96	2.65	0.55	M

※S：せん断破壊、M：曲げ破壊

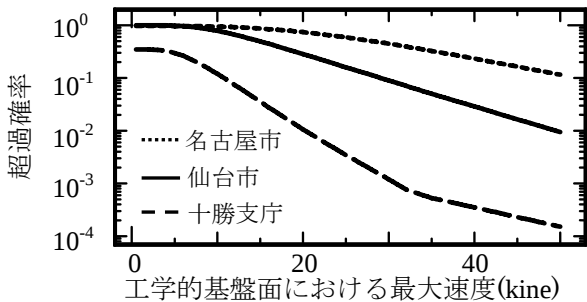


図-1 各地域の主要海洋型地震のハザード曲線

キーワード 地震切迫度、地震ハザード、フラジリティ曲線、破壊確率、耐震補強

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-06 TEL:022-795-7449

ード曲線 $F_s(a)$ である。地域により地震ハザード曲線 $F_s(a)$ は大きく異なり、工学的基盤面において、地震動のある最大速度に着目したとき、2003 年十勝沖地震が発生したことにより、十勝支庁は他の 2 つの市に比べその発生確率が相当に小さいことが確認される。

2.4 フラジリティ曲線

フラジリティ曲線 $F_R(a)$ は、ある地震動強さ(工学的基盤面における最大速度)を持つ地震波が作用したときの橋脚の破壊確率(変形性能を超える応答変位が生じる、またはせん断耐力を上回るせん断力が作用する)を表している。地震波は、地域特性を反映させるため、KiK-net³⁾より各地域の地震動記録を多数収集した。そして、振幅調整することである地震動強さを持つ地震波を作成し、これを用いて RC 橋脚の非線形動的解析を行い、その応答値を求めている。破壊確率はモンテカルロ法により算定し、地震動強さ毎に得られる破壊確率の値を直線近似することでフラジリティ曲線 $F_R(a)$ を得た。

仙台市に表-1 の 3 基の橋脚が存在すると仮定して得られたフラジリティ曲線 $F_R(a)$ を図-2 に示す。A 橋脚は、他の 2 つの橋脚に比べ曲げ耐力と靱性率が小さいことから、ある地震動強さを持つ地震波が作用したときの条件付の破壊確率が大きくなる。

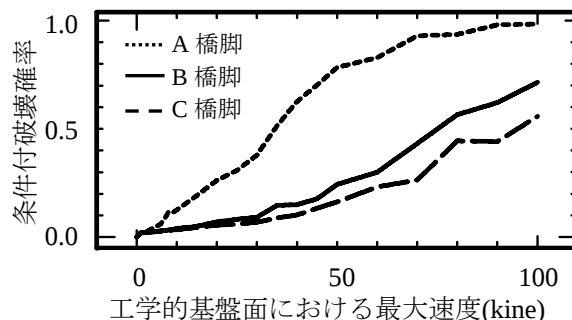


図-2 仙台市におけるフラジリティ曲線

2.5 耐震信頼性解析

破壊確率は、ハザード曲線 $F_s(a)$ とフラジリティ曲線 $F_R(a)$ より式(1)から算定した。

$$p_f = \int_0^{\infty} -\frac{dF_s(a)}{da} \cdot F_R(a) da \quad (1)$$

3. 解析結果

図-1 のハザード曲線を用いた各 RC 橋脚の破壊確率を図-3 に示す。当然のことながら、適用規準が古い橋脚ほど破壊確率が大きくなる。しかし、異なる地域同士で比較すると、例えば名古屋市にある B 橋脚と、十勝支庁にある A 橋脚では、本来耐震性能が高い B 橋脚の方が破壊確率が大きくなっている。これは、地域差とその切迫度の影響であり、図-1 から確認されるように、工学的基盤面における最大速度が大きくなっても、名古屋市や仙台市は十勝支庁に比べその生起確率が相当に大きいことが影響している。例えば、名古屋市と十勝支庁にある A 橋脚では破壊確率に約 9 倍の差が生じることが確認された。

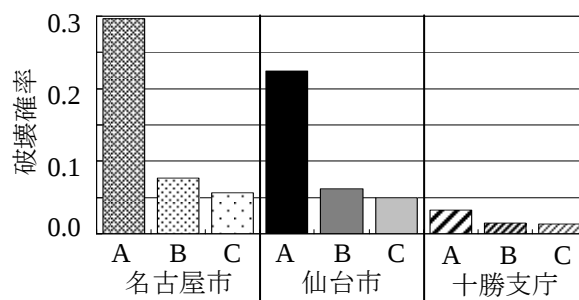


図-3 主要海洋型地震による破壊確率(30 年間)

4. まとめ

本研究では、全国に多数存在する既存不適格構造の耐震補強必要性を判断する指標として破壊確率を選定した。単柱式 RC 橋脚への適用例から、単に適用規準の新旧のみで耐震補強構造物の抽出を行うことは適切でなく、地震切迫度なども考慮すべきであり、それらの要因を反映した破壊確率は補強必要性の判断指標として適している。

なお、耐震補強優先度などを考える際には、単に構造物の破壊確率の大小のみではなく、重要度などの考慮が求められ、ライフサイクルコストや地震リスクなど新たな指標が必要となる。今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) (社)土木学会 地震工学委員会 既設構造物の耐震補強に関する研究小委員会：既設構造物の耐震補強に関する研究報告書、2002。
- 2) 防災科学技術研究所：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) 防災科学技術研究所：<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>