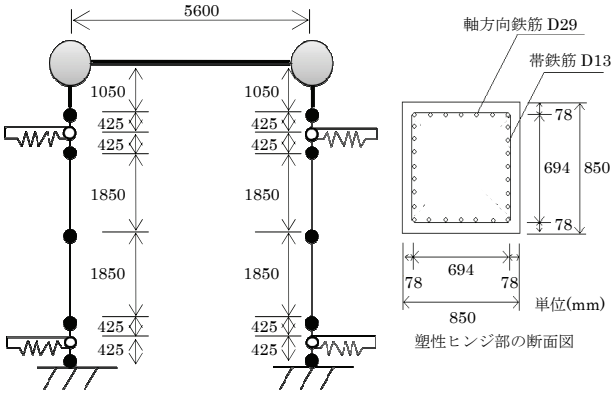
鋼板巻立てによる耐震補強を施したRC1層ラーメン橋脚のフラジリティ解析

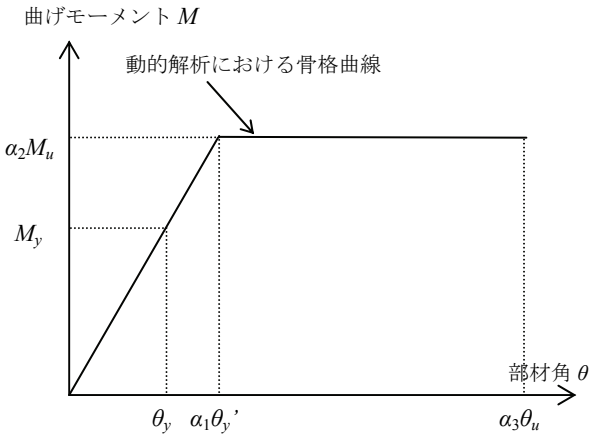
早稲田大学　学生会員　○水野恵太
早稲田大学　正会員　秋山充良

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により，岩手県，宮城県，そして福島県内にある一部の鉄道コンクリート構造物が強震動の作用を受けて損傷した．一方で，2003年の三陸南地震や2004年の新潟県中越地震による新幹線高架橋の大きな被災を受けて，鉄筋コンクリート(RC)柱に関しては，せん断破壊型と判定されるものを中心に既に鋼板巻立てによる耐震補強が施されていたものがある．東北地方太平洋沖地震後に実施した被害調査において，耐震補強実施済みのRC高架橋はほぼ無損傷であることが確認されている[1)]．本研究では，この耐震補強実施済みの東北新幹線RC1層ラーメン橋脚に着目し，フラジリティ解析により耐震補強効果を評価する．フラジリティ解析により得られるフラジリティカーブは，横軸が地震動強度(地動最大加速度(PGA)や加速度応答スペクトル)，縦軸が損傷確率(部材が保有するせん断耐力を超えるせん断力が作用する，あるいは終局部材回転角を超える応答が生じる確率)を表現するものである．耐震補強による効果をフラジリティ解析により評価した例としては，PadgettとDesRochesの研究[2)]がある．Monte Carlo法ベースで非線形動的解析を繰り返し実施し，耐震補強済みの道路橋のフラジリティ曲線を解析的に導出している．本研究では，同様の手順で鋼板巻立てにより耐震補強が施された新幹線RC1層ラーメン橋脚のフラジリティカーブを算定し，耐震補強前のものと比較することで，耐震補強による性能の向上の程度をフラジリティカーブの差として定量化する．



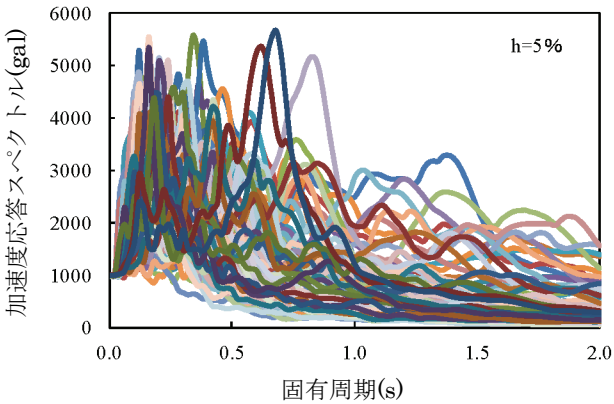
図－1　第 5 猪鼻高架橋(R15)の解析モデル



図－2　動的解析に用いたモーメント－回転角関係

2. 解析概要

解析対象は, 2003 年の三陸南地震の際にせん断により大きく損傷し，その後，鋼板巻き立てにより耐震補強が施された第 5 猪鼻高架橋 R15 の端部に位置する 1 層 RC ラーメン橋脚である．解析モデルを**図-1** に示す．なお，本研究では，橋軸直角方向のみに対してフラジリティ解析を行う．M－θ 関係は，鋼板巻立てを行った RC 柱の正負交番載荷実験結果に基づき提案されている参考文献[3)]の手法を基本として定めた. ただし, 簡単化のため, 骨格曲線は**図－2** に示すようにバイリニアモデルとした. 図中，M_y と θ_y は最外縁軸方向鉄筋が降伏する時の曲げモーメントと初降伏部材回転角であり，M_u は終局曲げモーメントである．終局部材回転角 θ_u は参考文献[3)]の手法を用いた．フラジリティ解析では，このようにして定められる骨格曲線と実際の差をモデル誤差 α_i (i=1～3)として考



図－3　フラジリティ解析に用いる地震波の加速度応答スペクトル(PGA を 1000gal に統一した場合の例)

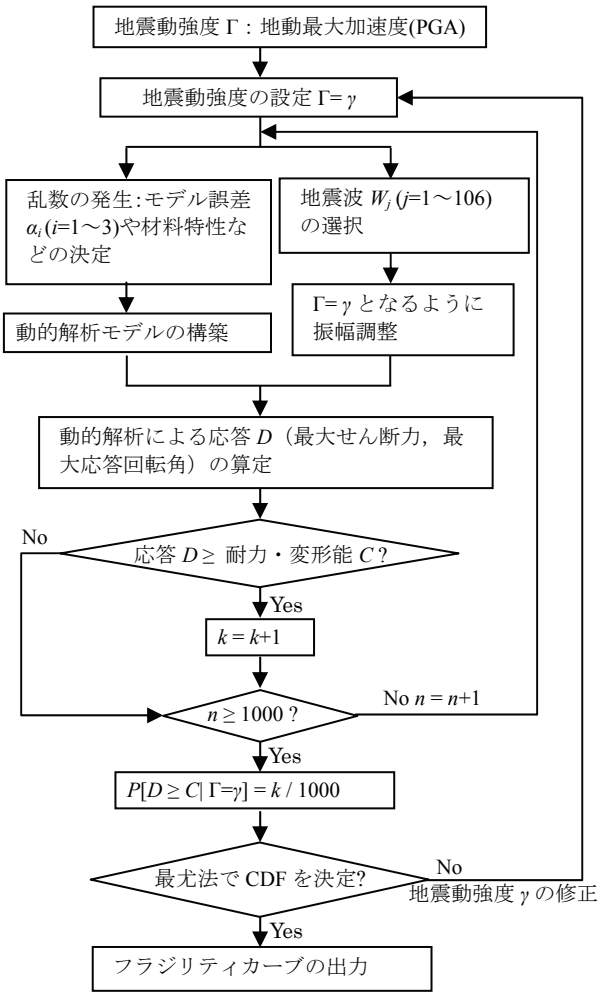
Key Words：2011 年東北地方太平洋沖地震，フラジリティ解析，RC ラーメン橋脚，耐震補強
連絡先：〒169-8555　東京都新宿区大久保 3－4－1 早稲田大学理工学部社会環境工学科　TEL：03 (5286) 2694

慮する．地震波は，2011 年東北地方太平洋沖地震で岩手県・宮城県・福島県で観測された 53 地点の K-NET 強震記録を使用する．各地点の EW と NS 成分の 2 つの地震波を用いることから，合計 106 波となる．地動最大加速度が 1000gal となるように振幅調整した 106 波の加速度応答スペクトルを**図－3** に示す．フラジリティカーブの横軸の地震動強度は，地動最大加速度とする．フラジリティカーブの算定手順のフローを**図－4** に示す．

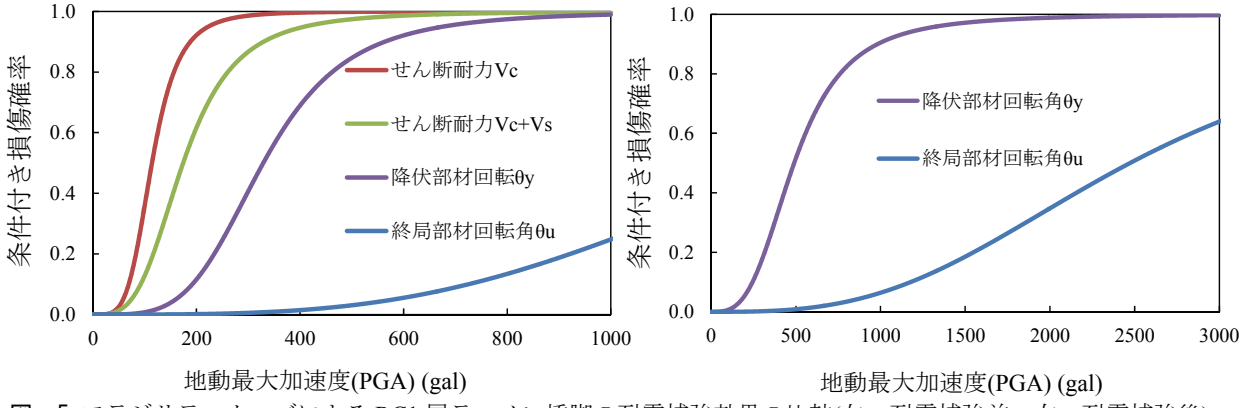
3. 解析結果

図－4 のフローから得られたフラジリティカーブを**図－5** に示す．耐震補強の実施前後の条件で計算したフラジリティカーブが示されている．耐震補強の実施前は，せん断耐力が曲げ耐力に比べて小さく，モデル誤差などの不確定性の存在下でも，V_c や V_c+V_s を超過するせん断力が生じる可能性の方が降伏部材角を超える応答値が生じる可能性よりも高いことが示されている．東北地方太平洋沖地震の際には，凡そながら 200gal 程度の地動最大加速度を持つ波が RC ラーメン橋脚に作用したと思われ，耐震補強が仮に実施されていなかった場合には，せん断により大きな損傷が生じていた可能性がある．

一方，鋼板巻立てによる耐震補強の実施後は，十分に大きな曲げ靭性が RC ラーメン橋脚に与えられる．**図－4** に示すような様々な特性を持つ波が作用する可能性や，終局部材回転角などの評価に伴うモデル誤差を考慮しても，終局部材回転角を超過する応答が生じる確率は相当に小さく抑えられていることがフラジリティカーブにより確認される．



図－4 フラジリティカーブ算定手順



図－5 フラジリティカーブによる RC1 層ラーメン橋脚の耐震補強効果の比較(左：耐震補強前，右：耐震補強後)

4. まとめ

本研究で実施したフラジリティ解析から，解析対象とした東北新幹線 RC1 層ラーメン橋脚は，耐震補強前は，せん断力に対して脆弱であったが，鋼板巻立てを施すことにより，安定した曲げ挙動が期待でき，非常に高い耐震性能が付与されていることを確認した．

参考文献 1) Kawashima, K., Kosa, K., Takahashi, Y., Akiyama, M., Nishioka, T., Watanabe G., Koga, H. and Matsuzaki H.: Damage of Bridges during 2011 Great East Japan Earthquake, Proc. 43rd Joint Meeting, US-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Tsukuba Science City, Japan, 2011. 2) Padgett, J.E. and DesRoches R.：Retrofitted bridge fragility analysis for typical classes of multispan bridges, Earthquake Spectra, Vol. 25, No.1, 117-141, 2009. 3) 玉井真一，瀧口将志，服部尚道：耐震補強された RC 柱の変形性能に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.3，pp.1111-1116,1996.