

釧路沖地震における被害橋梁データに基づく耐震性評価因子の検討

Investigation of Earthquake Resistant Performance Evaluation Factor based on Damage Bridge Data by the Kushiro-oki Earthquake

北見工業大学大学院
北見工業大学
北見工業大学
太平洋総合コンサルタント(株)
太平洋総合コンサルタント(株)

○学生員
フェロー
正 員
正 員
正 員

森 大悟 (Daigo Mori)
大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
三上修一 (Shuichi Mikami)
平 成晴 (Shigeharu Taira)
工藤英雄 (Hideo Kudo)

1. はじめに

大規模地震の発生は土木構造物に多大な被害を与え、周辺地域に大きな影響を及ぼす。中でも、橋梁は震災時において被災地への救援物資や復旧用資機材等の輸送路として使用され、重要な構造物であるといえる。したがって、大規模地震により橋梁が被害を受ける可能性を予め推定することができれば、耐震補強計画を策定する上で大変有効であると考えられる。

著者らはこれまで健全度評価に関する研究として、橋梁の耐震性能を数量化理論Ⅱ類により評価する手法を提案している¹⁾。また、地震多発地域である釧路地方を対象として、1993年(平成5年)に釧路沖約20kmで発生した釧路沖地震における橋梁の被害と地下構造の関係を検討している²⁾。

本研究では、釧路沖地震における橋梁の被害状況から地震被害評価を行うために、これまでの耐震性健全度評価項目の中から地震被害に関連する項目を選定し、それに地震動に関連する項目を加えて、数量化理論Ⅱ類により橋梁の地震被害要因分析を行った。表-1に釧路沖地震の概要を示す^{3), 4)}。

2. 釧路沖地震における橋梁の被害状況

図-1は釧路地方橋梁の架設位置及び釧路沖地震における震度分布を示している。図中において、●は無被害橋梁、★は被害橋梁を示している。震度分布は釧路地方に架設されている国道・道道橋234橋(うち被害橋梁39橋)の架設位置での震度を求めることにより作成した⁵⁾。

まず、各橋梁架設位置と震央の緯度、経度より震央距離及び震源距離を求め、地質調査のボーリング資料より架設位置付近の表層地質を調査した。そして、得られた震源距離及び表層地質を用いて、表層地質による地盤増幅度を考慮した距離減衰式に基づいて、地表面での最大速度を計算し、それを震度に変換した。最後に、釧路地方を76×133のメッシュに分割して、各橋梁架設位置での震度を基に欠落しているデータを距離の逆数で重み付けて補間することで76×133の格子点データを作成し

表-1 釧路沖地震概要

発生日時	平成5年1月15日午後8時6分
震 央	北緯42° 51'、東経144° 23'
震源深さ	107km
規 模	M=7.8

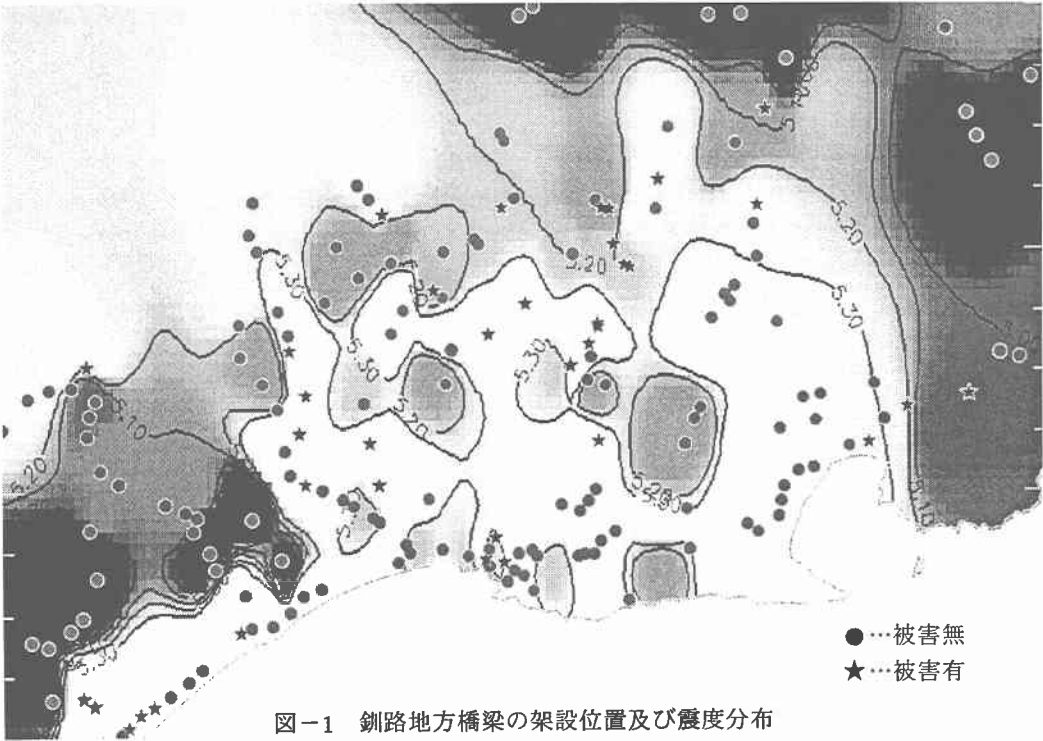


図-1 釧路地方橋梁の架設位置及び震度分布

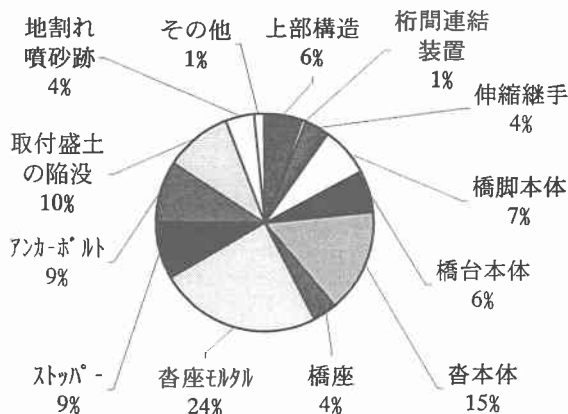


図-2 釧路沖地震における橋梁の被害状況 (63 橋)

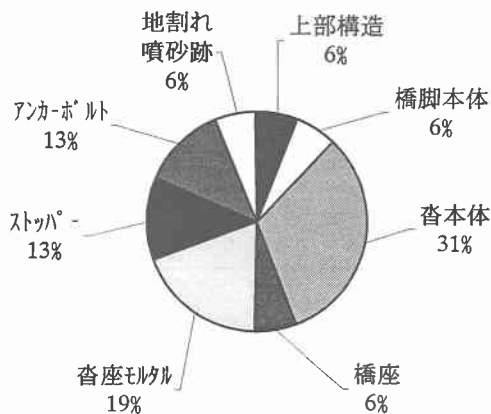


図-3 解析対象橋梁の被害状況 (8 橋)

震度分布を求めた。距離減衰式の計算では、震度は 4.6 から 5.4 の間で分布しており、図では色が白に近いほど震度が高いことを示している。★で示した被害橋梁のほとんどは震度 5.3 以上の地域に架設されており、橋梁架設位置周辺の表層地質の違いにより、今後、釧路地方で大規模な地震が発生した場合に橋梁が被害を受ける可能性が高い地域であると考えられる。

次に、図-2 は釧路沖地震による被害が報告されている橋梁 (63 橋) の被害状況を示している。沓本体、橋座、沓座モルタル、ストッパー及びアンカーボルトにおける被害が全体の 61% を占めており、被害の多くは支承周辺部で発生していることが分かる。図-3 は解析対象橋梁の被害状況を示している。支承周辺部においての被害が 82% を占めており、同様の傾向となっている。

3. 地震被害評価手法の検討

図-1 の震度分布において、大規模地震発生時に橋梁が被害を受ける可能性の高い地域を推定した。さらに橋梁の耐震性能を考慮して地震被害の可能性を評価するために数量化理論Ⅱ類を用いて解析を行う。

まず、これまでの耐震性健全度評価と地震動特性から橋梁の地震被害に関連するアイテムとカテゴリを表-2 のように選定した。外的基準は地震被害の有無とした。そして、釧路沖地震以前に点検された橋梁点検データを基に、表-2 のアイテム・カテゴリに整理し、その結果を数量化理論Ⅱ類により解析した。解析より得られたそれぞれのアイテムに対する重み係数を考慮して地震被害評価を行う。

3.1 解析対象橋梁

本解析では橋梁点検データを活用することから、釧路地方の橋梁で釧路沖地震の発生した 1993 年以前に点検が行われている橋梁を解析対象とした。その結果、国道橋 27 橋 (うち被害橋梁 7 橋)、道道橋 12 橋 (うち被害橋梁 1 橋)、計 39 橋を対象として解析を行う。

3.2 アイテム及びカテゴリの構成

橋梁の地震被害評価を行うにあたり、表-2 に示するような橋梁の地震被害に関連するアイテム及びカテゴリを選定した。ここでアイテムは大きく分けて 4 つの要素から構成されている。1 つ目は橋梁の損傷度に関連する 3 項目 (上部構造、下部構造、支承)、2 つ目は橋梁の耐震構造に関連する 3 項目 (桁掛長、落橋防止装置、適用示

表-2 地震被害評価のアイテム及びカテゴリ

アイテム	カテゴリ	アイテム	カテゴリ
上部構造	Ⅲ Ⅱ	示方書	S46 以降 S46 未満
下部構造	Ⅲ Ⅱ	液状化	可能性低 可能性高
支承	Ⅲ Ⅱ	地盤種別	I・Ⅱ種 Ⅲ種
桁掛長 (SE)	SE 以上 SE 未満	震度	4.4 以下 4.5 以上
落橋防止装置	有 無	橋軸方向	30° 未満 30° ~ 59° 60° 以上

表-3 損傷度の判定

判定区分	一般的状況	カテゴリ
OK	点検の結果から、損傷が認められない。	Ⅲ
Ⅳ	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。	
Ⅲ	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。	
Ⅱ	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。	Ⅱ

表-4 桁掛長の判定

桁掛長	カテゴリ
必要桁掛長以上	SE 以上
必要桁掛長未満	SE 未満

表-5 適用示方書の判定

適用示方書	カテゴリ
昭和 46 年以降の示方書	S46 以降
昭和 46 年未満の示方書	S46 未満

表－6 地盤種別の判定

地盤種別	地盤の特性値 T_G (S)	カテゴリー
I 種地盤	$T_G < 0.2$	I・II 種地盤
II 種地盤	$0.2 \leq T_G < 0.6$	
III 種地盤	$0.6 \leq T_G$	III 種地盤

表－7 液状化の判定

液状化の可能性	微地形分類	カテゴリー
可能性が低い	台地、丘陵、山地等	可能性低
場合による	後背湿地、砂州等	可能性高
可能性が高い	埋立地、干拓地等	

表－8 震度の判定

震度	カテゴリー
計算による震度が 4.4 以下	4.4 以下
計算による震度が 4.5 以上	4.5 以上

表－9 地震波の入射角の判定

地震波の入射角	カテゴリー
橋軸方向に対して 30° 未満	30° 未満
橋軸方向に対して $30^\circ \sim 59^\circ$	$30^\circ \sim 59^\circ$
橋軸方向に対して 60° 以上	60° 以上

表－10 橋梁地震被害評価

地震被害の可能性	判定
被害を受ける可能性が低い（被害無）	1
被害を受ける可能性が高い（被害有）	2

方書）、3 つ目は周辺環境に関連する 2 項目（地盤種別、液状化）、最後に地震に関連する 2 項目（震度、地震波の入射角）であり、計 10 項目である。橋梁の損傷度に関連する項目については橋梁点検要領（案）に基づく損傷度判定から表－3 に示すように 2 つのカテゴリーとした。落橋防止装置については有無により判定を行い、桁掛長については表－4 に示す。適用示方書については解析対象橋梁の多くが昭和 31 年から昭和 55 年の示方書で設計されている。そのため、昭和 46 年発行の「道路橋耐震設計指針」を区切りとし、表－5 に示すように 2 つのカテゴリーとする。地盤種別と液状化については建設省道路局の「道路防災総点検要領」から抜粋して適用している。地盤種別については“I 種地盤”と“II 種地盤”を統合し、液状化については液状化の可能性が“場合による”と“可能性高”を統合し、表－6 及び表－7 に示すようにそれぞれ 2 つのカテゴリーとした。震度については日本道路協会の「道路橋示方書・耐震設計編」⁶⁾より、図－1 に示す震度分布作成に用いた 234 橋の釧路沖地震に対する応答加速度を求め、それを震度に変換した。その結果、被害橋梁の多くは震度 4.5 以上の地震動を受けており、震度 4.5 を区切りとして表－8 に示すように 2 つのカテゴリーとした。地震波の入射角については地震波が地震の震央から橋軸方向に対してどの角度から入射しているかを、表－9 に示すような 3 つのカテゴリーで区分した。

表－11 解析結果

アイテム	カテゴリー	度数	カテゴリースコア	範囲 (重み係数)
上部構造	III	35	-0.05485	0.53481 (9.188%)
	II	4	0.47995	
下部構造	III	35	0.06147	0.59932 (10.296%)
	II	4	-0.53785	
支承	III	28	-0.19378	0.68703 (11.803%)
	II	11	0.49325	
SE	以上	28	0.00881	0.03122 (0.536%)
	未満	11	-0.02241	
落橋防止装置	有	16	0.48150	0.81645 (14.026%)
	無	23	-0.33495	
適用示方書	S46 以降	9	0.11774	0.15306 (2.630%)
	S46 未満	30	-0.03532	
地盤種別	I、II 種	24	-0.57342	1.49090 (25.613%)
	III 種	9	0.91748	
液状化	低	15	0.20586	0.33452 (5.747%)
	高	24	-0.12866	
震度	4.4 以下	17	-0.40763	0.72261 (12.414%)
	4.5 以上	22	0.31498	
地震波の入射角	30° 未満	13	0.10606	0.45101 (7.748%)
	$30^\circ \sim 60^\circ$	18	0.07671	
	60° 以上	8	-0.34495	
外的基準	被害無	31	-0.36225	相関比
	被害有	8	1.40372	

また、橋梁の地震被害の可能性を表－10 に示すような 2 段階で判定する。

3.3 解析結果

前節で説明した橋梁の地震被害に関連する 10 項目とそれぞれのカテゴリー及び釧路沖地震による橋梁の地震被害の有無を用いて、数量化理論Ⅱ類により解析した。

表－11 に解析結果を示す。また、図－4 に表中の範囲（重み係数）のグラフを示す。まず、図表中のカテゴリースコア及び重み係数より、各アイテムと橋梁の地震被害の関係が把握できる。外的基準のカテゴリースコアは被害有の場合に大きくなっている。したがって、各アイテムにおいてカテゴリースコアが大きいカテゴリーほど被害を受ける可能性を高くすることに寄与している。重み係数については、値が大きいほど重要なアイテムといえる。したがって、上部構造、下部構造、支承、落橋防止装置、地盤種別、震度、地震波の入射角が地震被害に大きく影響を与える項目であることが分かる。

これらの中で、地盤種別は 25.6% と全体の 1/4 を占めており、特に影響の大きい項目である。そして、III 種地盤すなわち軟弱地盤の場合に被害を受ける可能性が高くなる。上部構造、支承に関しては損傷度が高い場合、震度に関しては震度 4.5 以上の地震動を受けた場合、地震波の入射角に関しては地震動の入射方向が橋軸直角方向より橋軸方向に近い場合に地震被害を受ける可能性が高くなるという良好な結果が得られた。しかし、下部構造に関しては損傷度が低い場合、落橋防止装置に関しては落橋防止装置が設置されている場合に地震被害を受ける

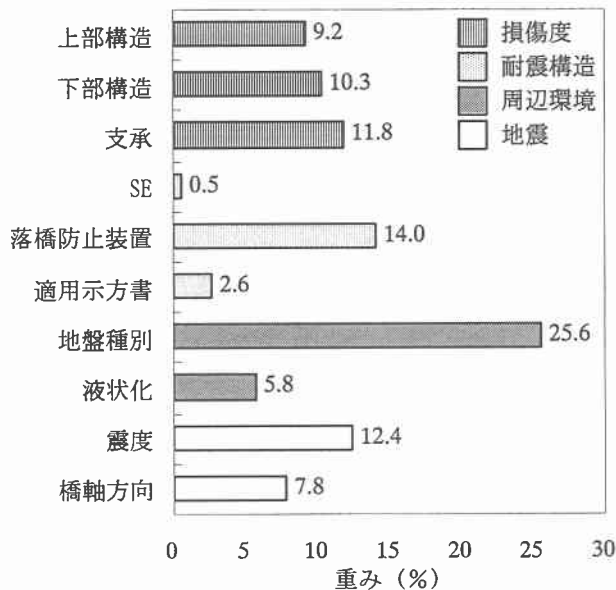


図-4 地震被害評価における重み係数

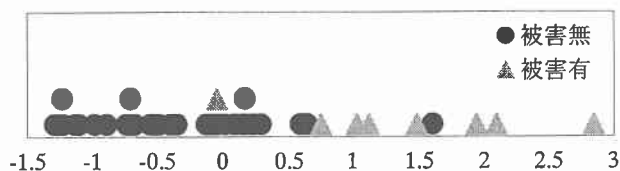


図-5 解析対象橋梁のサンプルスコア
ヒストグラム

可能性が高くなるという結果となっている。この理由として、本解析では地震被害の有無を外基基準としているため、2章において示した釧路沖地震による橋梁の被害状況が大きく関係していると考えられる。下部構造についてみると、本地震では支承周辺部における被害が非常に多くなっており、それに比べて下部構造に関連する被害は少ない。これにより下部構造の損傷度が高いことが地震被害に影響を与えていないと判断される。落橋防止装置についてみると、支承部に設置されている移動制限装置に損傷が発生しており、落橋防止装置が設置されている場合に被害を受ける可能性が高くなると判断される。

また、桁掛長、適用示方書、液状化については地震被害に余り影響しないという結果となった。桁掛長については落橋などの直接的被害事例が無かったため、適用示方書については、解析対象橋梁は古い示方書で設計されているものが多いため、液状化については、釧路沖地震の発生した時期は冬であり、液状化による被害が少なかったため影響度が低くなったと考えられる。

次に、図-4に示している各アイテムの重み係数を要素別にみると、損傷度に関連する項目が31.3%、耐震構造に関する項目が17.1%、周辺環境に関する項目が31.4%、地震に関する項目が20.2%となっており、地震被害に対して、それぞれの要素がほぼ均等に影響していることが分かる。

以上より、支承周辺部に被害が多く発生している釧路沖地震における橋梁の被害形態を反映したカテゴリースコアと地震被害に関連する項目に対してほぼ妥当な重み係数が得られた。

最後に、解析対象橋梁39橋のサンプルスコアを求めてプロットした図を図-5に示す。表-11に示している相関比が0.50850とある程度高い値となったため、一部重なっている部分もあるが、値の小さい方に無被害橋梁、大きい方に被害橋梁が分布していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、釧路地方を対象に釧路沖地震における震度分布を求め、地震時の危険地域を推定した。さらに、橋梁の耐震性能を考慮して地震被害の可能性を評価するために数量化理論Ⅱ類を用いて解析を行った。それにより得られた事項について要約して以下に示す。

- (1) 釧路地方橋梁の架設位置における地表面での震度を表層地質の地盤増幅度を考慮した距離減衰式から計算し、それを基に震度分布を求めた。その結果、釧路地方の中で表層地質の違いにより震度の高くなる地域が分かり、今後、釧路地方で大規模な地震が発生した場合に橋梁が被害を受ける可能性が高い危険地域を推定することができた。
- (2) これまでの耐震性健全度評価及び地震動特性から橋梁の地震被害に関連するアイテムとカテゴリーを選定し、釧路沖地震における橋梁の被害状況を基に数量化理論Ⅱ類により解析を行い、地震被害要因分析を行った。その結果、釧路沖地震における橋梁の被害形態を反映したカテゴリースコアと地震被害に関連する項目に対してほぼ妥当な重み係数が得られた。

本研究では釧路沖地震における橋梁の被害状況を基に、釧路地方に架設されている橋梁を対象として解析を行った。そのため、釧路沖地震の被害形態のみを反映した解析結果となり偏りがあるものと思われる。したがって、過去に発生した様々な地震被害のデータを収集して解析することにより、より精度の高い橋梁の地震被害要因分析を行うことができる。また、その結果得られる重み係数を用いることにより、今後起こりうる大規模な地震に対する橋梁の地震被害評価が可能となり、今後の検討事項と考えている。

参考文献

- 1) 平、丹波他：耐震性を考慮した橋梁健全度診断評価の検討、土木学会第54回年次学術講演会、I-A221、pp.442-443、1999.10
- 2) 森、平他：釧路地方の地下構造を考慮した橋梁の耐震健全度評価、土木学会第56回年次学術講演会、I-B119、2001.10
- 3) 土木学会：震害調査シリーズ2 1993年釧路沖地震震害調査報告、1994.12
- 4) 北海道釧路土木現業所：平成5年（1993年）釧路沖地震被災記録、1994.3
- 5) 防災情報のページ：地震被害想定支援マニュアル、<http://www.bousai.go.jp/>
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、1996.12