

日本技術開発株式会社 正員 ○野中昌明
 東京大学生産技術研究所 正員 片山恒雄

1. はじめに 道路橋は道路網の一部を担っているため、どの道路橋がどの程度の被害を受けたかによって、地震後の道路網機能に与える損失は大きく異なる。道路橋の耐震設計や道路網の防災を検討するには、このような損失を道路橋の重要度として積極的に評価する必要がある。本報文は、道路橋の耐震性に関するコストベネフィット分析により、最適な道路橋の設計震度の決定を試みその解析例を検討したものである。

2. 最適な設計震度決定の考え方 道路橋の耐震対策費用と道路橋被害による損失費用とは互いにトレードオフの関係にある。最適解を見いだす決定基準はいくつか考えられるが、ここでは耐震対策費用と損失費用の和を耐震化を考えないときの道路橋建設費で基準化したものを道路橋の総損失率（TLR(k_1, \dots, k_m ））とし、総損失率を最小とする道路橋の設計震度 $k(k=k_1, \dots, k_m)$ を最適な設計震度(k_{opt})と定義した。

$$TLR(k_1, \dots, k_m) = \sum_{k=k_1}^{k_m} IC(k) + \delta \sum_{IL=4}^7 \left[\sum_{k=k_1}^{k_m} \{1+IC(k)\} \frac{CMDR(k, IL)}{100} + \lambda \frac{\sum TUL(S_1, \dots, S_m) P_{S_1, \dots, S_m}(k, IL)}{COST} \right] SR(IL)$$

第1項の $IC(k)$ は設計震度 k のときの耐震化に必要な費用で、 $IC(k)=10ik(\%)$ (i は設計震度を0.1上げるのに必要な建設費増加率 $i(\%)$ (5~20%)) で表す。第2項は道路橋の直接被害額と道路橋の通行規制が道路網利用者全体に与える損失を表している。 $CMDR(k, IL)$ は道路橋のvulnerabilityであり、任意の設計震度 k と気象庁震度階 IL との組合せに対し図1のように仮定することができる⁽¹⁾。 $TUL(S_1, \dots, S_m)$ は m 橋の道路橋がそれぞれの通行規制状態 S_1, \dots, S_m (0:規制無し、1:片側通行、2:通行止め) のときの道路網全体の利用者損失を表し、この事象の発生確率を $P_{S_1, \dots, S_m}(k, IL)$ で表す。 $SR(IL)$ は気象庁震度階 IL ($IL=4\sim 7$)の地震の年平均発生率、 δ は耐用期間の損失を求める換算係数、 λ は時間価値、 $COST$ は道路網内の全道路橋の建設費である。

3. 被災後の道路網機能の一例 道路橋の通行が規制されたときの利用者損失を図2に示す道路網で検討する。各リンクの走行時間関数は車線数と距離に応じて決められ、表1のOD交通量(右上)が配分された結果、各ODの走行時間は同表左下のように求められた。損失の大きさは各ODの利用需要の大きさによって異なるため、走行時間が nT (T は平常時の走行時間)のとき利用需要が0となる需要曲線(図3)を導入し、この n が3, 6, 10の場合について解析した。 $TUL(S_1, \dots, S_m)$ は全ODの利用者損失を合計して求められる。任意の道路橋が単独に通行止めとなったときのA, B, C橋の通行量と迂回交通量を図4に示す。B橋では普段から容量に近い交通量があったため、 $n=3, 6, 10$ でA橋およびC橋が通行止めになると、迂回交通量によってB橋の交通量は容量に達することがわかる。 $n=10$ でA橋が通行止めになった場合には、B, Cの両橋梁で交通量が容量に達する。たとえ利用需要がこれ以上大きくとも、両橋梁だけでは利用需要の全部をさばけず、新潟地震において昭和大桥と八千代橋が利用できなかったため市内の交通がマヒした状態に似ている。

4. 解析例 あらゆる規制状態について利用者損失を求め、表2で与えられる条件でA, B, C橋の最適設計震度とそのときの総損失率を求めた(表3)。たとえば、 $n=3$ で $i=15\%$ のとき、最適設計震度はA橋が0.2、B橋が0.14、C橋が0.07である。道路網における個々の道路橋の重要度が反映され、C橋の耐震化費用を減らしてもA橋やB橋の耐震に費用をかけようとする傾向がみられる。一方、 $n=6$ で $i=15\%$ のときには、各道路橋の最適設計震度が0.3、0.21、0.12となる。利用需要が潜在的に大きい場合には、そうでない場合と比べて重要な道路橋ほど最適設計震度の増加が大きく、より多くの耐震費用をかけた方が引き合うことを表している。

5. あとがき 道路橋の通行規制による利用者損失を設計震度の設定に反映させることができた。解決すべき部分は残されているが、個々の道路橋の耐震性と道路網機能の損失との関係が定量的に導かれるため、

本解析法を応用することにより、例えば、複数の被害橋の復旧優先順位や架け替え橋梁の耐震性を検討する場合も、道路網全体の耐震性という見方から得られる合理的な判断材料が提供され得るだろう。

1)野中昌明：「交通システム機能を考慮した道路橋の耐震性に関する検討」、第7回日本地震工学シンポジウム、1986.12

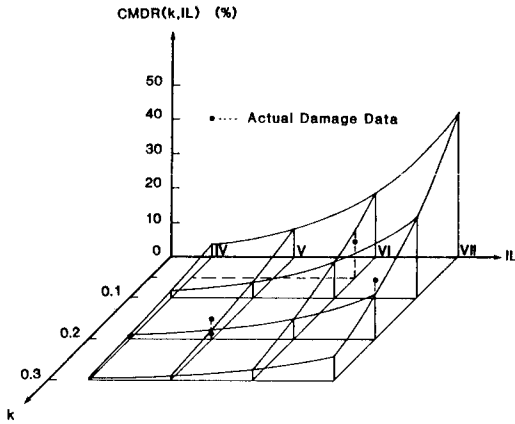
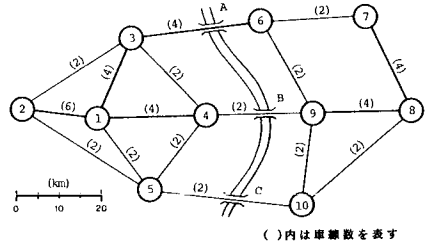


図1 道路橋の平均被害率



()内は車線数を表す

道路規格	実用容量 [1/(half day)]	最高速度 [km/hr]	容量時速度 [km/hr]
2車線道路	18000	50	25
4車線道路	57600	80	40
6車線道路	86400	80	40

図2 道路網の規格

表1 平常時のOD交通量と走行所要時間

		OD Flow Rate (Vehicles / Day)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		80000	44000	37000	14100	7700	1300	4200	3000	80	
2		29	1400	2000	1100	1040	460	1450	500	120	
3		29	44	9300	390	20000	470	850	1150	200	
4		31	63	47	2250	600	120	280	8500	300	
5		44	46	73	38		270	130	390	5400	3500
6		65	80	36	83	109		2500	1200	1900	120
7		103	119	74	121	140	38		45000	2900	110
8		123	152	108	89	105	72	34		26800	290
9		92	121	77	58	97	41	65	31		900
10		104	106	124	95	60	78	80	46	37	

Trip Time (Minutes)

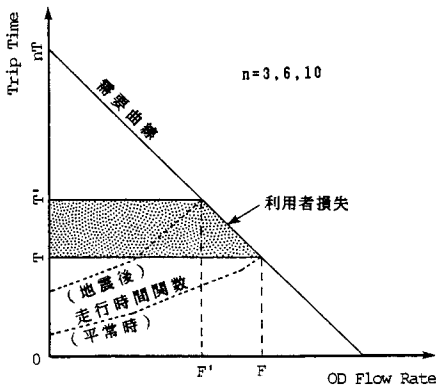


図3 ODの需要曲線と利用者損失

表2 最適な設計震度の解析条件

地震の年平均発生率(SR)	近畿地方	$\left\{ \begin{array}{l} A橋 = 2.5 \\ B橋 = 2 \\ C橋 = 2 \end{array} \right.$
道路橋の建設費(COST)	6.5億円	
耐用年数(δ)	50年	
需要曲線の傾き(n)	3, 6, 10	
利用者の時間価値(λ)	25円/分	

		平常時	A橋通行止め	B橋通行止め	C橋通行止め
n=3	A橋	35335		42159	36739
	B橋	17038	18000		18000
	C橋	7637	11368	10585	
	総交通量	60010(100%)	29368(49%)	52744(88%)	54739(91%)
	迂回交通量	0	4693	9772	2366
n=6	A橋	35335		45056	39316
	B橋	17038	18000		18000
	C橋	7637	15540	11357	
	総交通量	60010(100%)	33540(56%)	56413(94%)	57616(96%)
	迂回交通量	0	8865	13441	4943
n=10	A橋	35335		45857	40340
	B橋	17038	18000		18000
	C橋	7637	18000	11968	
	総交通量	60010(100%)	36000(60%)	57825(96%)	58340(97%)
	迂回交通量	0	11325	14853	5967

図4 各道路橋が単独に通行止めになったときの交通量と迂回交通量

表3 各道路橋の最適設計震度と総損失率

δ	i (%)	n=3			TLR	n=6			TLR
		k_{opt}				k_{opt}			
		A	B	C		A	B	C	
$\delta = \frac{1-A}{1-A^{1/T}}$	5	0.30	0.30	0.27	0.27	0.30	0.30	0.30	0.34
A=0.1	10	0.27	0.21	0.14	0.40	0.30	0.28	0.20	0.49
	15	0.20	0.14	0.07	0.49	0.30	0.21	0.12	0.61
T=50 years	20	0.15	0.08	0.01	0.55	0.27	0.16	0.07	0.72