

大震災応急復旧資機材量推定システムの試作

伯野元彦¹・佐藤忠信²・後藤洋三³・磯山龍二⁴
庄野 昭⁵・菊地敏男³・江尻譲嗣³・奥田 暁⁶

¹WFO-会員 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

²正会員 京都大学教授 防災研究所地震災害研究部門 (〒204-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³正会員 (株)大林組技術研究所 土木第五研究室 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640)

⁴正会員 日本技術開発(株)環境防災事業部地震防災部 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

⁵正会員 (株)間組 土木本部構造物・橋梁統括部 (〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8)

⁶正会員 (株)大林組技術研究所 振動研究室 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸4-640)

巨大地震に直撃された都市の復旧を速やかに進めるためには、交通インフラ自体が被災している中で効率的に復旧資機材を物流させ、交通インフラの早期復旧をはかる戦略と支援システムの重要性が指摘される。

そのシステム構築に不可欠なサブシステム、応急復旧資機材量推定システムを試験的に構築した。そして、1923年関東地震の再来を想定し、南関東平野の高架橋梁を対象に耐震補強がなされていないという仮定を設け、阪神淡路大震災における被害率と復旧資機材量原単位の調査データを適用して、応急復旧に必要な資機材量を試算した。その結果、4百万台日の主要機械と2千万日人の人員が必要となることがわかった。

Key Words : *Strong ground motion, Stochastic synthesis method, The great 1923 kanto earthquake, Tokyo metropolitan area, Logistics, Transportation infrastructure*

1. はじめに

1923年の関東地震に相当するような巨大地震が首都圏を直撃した場合には、耐震補強に進展があったとしても交通インフラに広範な被害が生じることは避けられない。都市全体の復旧を速やかに進めるためには、交通インフラが被災している中で効率的に復旧資機材を物流させ、まず交通インフラの早期復旧をはかるための戦略とその支援システムの構築が不可欠である。

ここでは、このサブシステムとなる応急復旧資機材量推定システムを道路と鉄道の高架橋梁を対象に試験的に構築した。そして、1923年関東地震の再来を想定して求めた首都圏1都3県の主要部を含む120km×120kmの地域内の地表面震度分布を基に、南関東平野の被災した高架橋梁の応急復旧に必要な資機材量の試算を行ったので報告する。

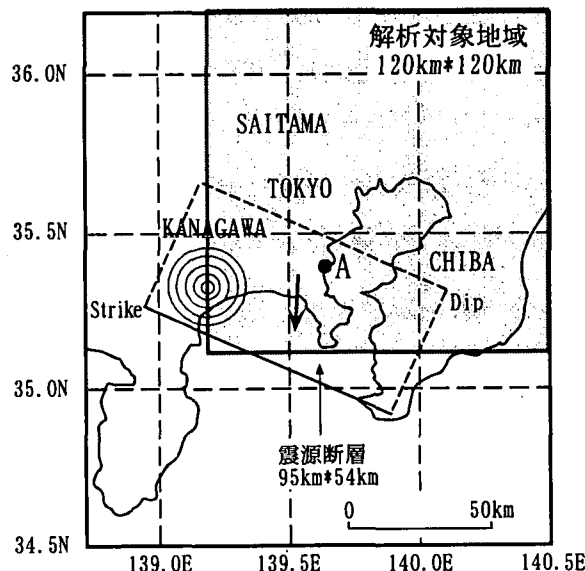


図-1 解析対象地域と想定地震の震源断層

2. 地表面地震動強度の評価

震源断層は、1923年関東地震の再来を想定した。

図-1に、想定した関東地震の断層面の位置と解析対象とした120km×120kmの地域的位置関係を示す。

表-1には、想定した断層パラメータの一覧を示す。

解析対象地域内を、1km×1kmメッシュに分割し、陸域の総計9944個のメッシュについて地表面地震動を算定した。地震基盤($V_s=3.0\text{km/s}$)²⁾の地震動は、震源断層の広がりや震源破壊メカニズムを考慮した周波数

型統計的グリーン関数法¹⁾により算定した。それ以後の堆積層による地震動の増幅特性は、各メッシュ毎に深層地盤を関東における8測線の弾性波探査による速度構造を空間補間して与え、さらに浅層地盤に各自治体のボーリング柱状図を用いることにより、土質に応じて線形または非線形の1次元重複反射解析²⁾により評価した。深層地盤の速度構造は、地震基盤以浅の層をそれぞれ浅いほうからA層($V_s=0.68\text{km/s}$)ならびにB層($V_s=1.50\text{km/s}$)の2層系とし線形弾性体としてモデル化した。図-2に、A層とB層の深度コンターを示す。各自治体のボーリング情報に基づく浅層地盤は、土質に応じて地盤の等価線形化法により非線形増幅特性を考慮した。佐藤等³⁾の提案した手法では、地表面地震動の物理指標として応答スペクトル、最大地震動などが直接算定できる。ここでは、9944個の全メッシュについて地表面地震動の(1)5%減衰絶対加速度応答スペクトル、(2)20%減衰相対速度応答スペクトル、(3)最大加速度、(4)最大速度、(5)S I値を算定し

表-1 想定地震の断層パラメータ

Parameters		Value	Reference
Middle Point on Fault Line	Rat., Long. (degree)	35.08, 139.40	
Location of Site A	Rat., Long. (degree)	35.4912 139.6390	Hypocentral dist. = about 50km
Fault Length	L (km)	95	Matsuura (1980)
Fault Width	W (km)	54	Matsuura (1980)
Seismic Moment	M ₀ (dyne·cm)	8.4×10^{27}	Matsuura (1980)
JMA Magnitude	M _j	7.9	Matsuura (1980)
Dislocation	D (m)	10.75	Kunamori (1975)
Rise Time	τ (sec)	8.065	Geller (1976)
Stress Drop	$\Delta\sigma$ (bar)	100	Satoh (1989)
Strike	θ (degree)	294	zero point is South-East
Dip	δ (degree)	25	Upper is North-East
Rake	λ (degree)	110	D. J. Wald (1995)
Small Eq. Number	L dir. W dir. D dir.	5 5 5	Sato (1997)
Location of Hypocenter	Rat., Long. (degree)	35.35 139.15	Radial and Bilateral Rupture
Rupture Velocity	V_r (km/s)	2.7	$V_r=0.9 \times V_s$
S Wave Velocity	V_s (km/s)	3.0	$\rho=2.5\text{gf/cm}^3$ $G=2.25 \times 10^{11}\text{dyne/cm}^2$
Frequency Range	f (Hz)	0.2~10.0	
Radiation Pattern	Constant	Circular	0.4
Corner Freq of Small Eq.		Omega Square	Geller (1976)

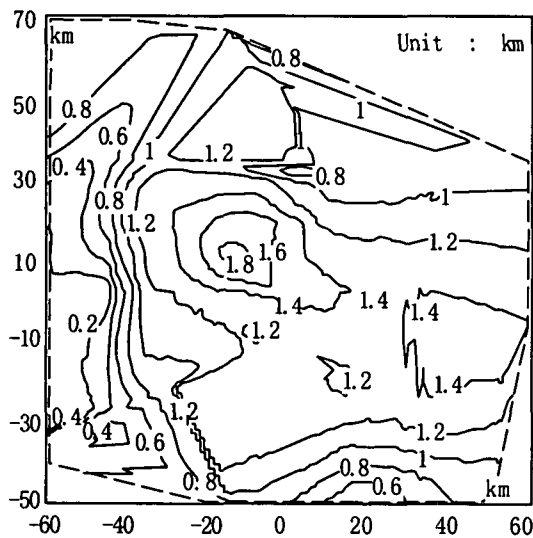


図-2 AとB層の境界面の深度

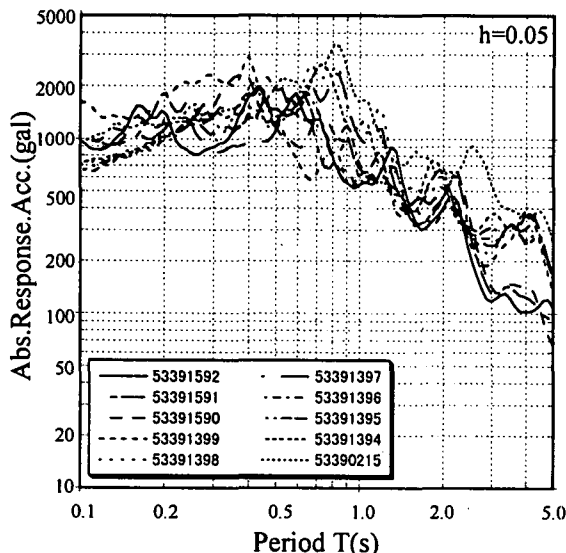


図-3 A地点周辺の加速度応答スペクトル

た。気象庁震度は、童等の変換式³⁾を用いて最大加速度とS I値により評価した。図-3は、図-1中に示したA地点及びその周辺地点の地表面の5%減衰絶対加速度応答スペクトルを示す。A地点及びその周辺地点の加速度応答スペクトルのレベルは、兵庫県南部地震の震源域及びその近傍の地震観測記録のレベルに相当する。図-4(a), (b)には、対象地域内の地表面における最大加速度と気象庁震度の分布を示す。算定された地震動強度の地域分布は、1923年関東地震の地震被害から推定された震度分布⁴⁾と調和的であった。

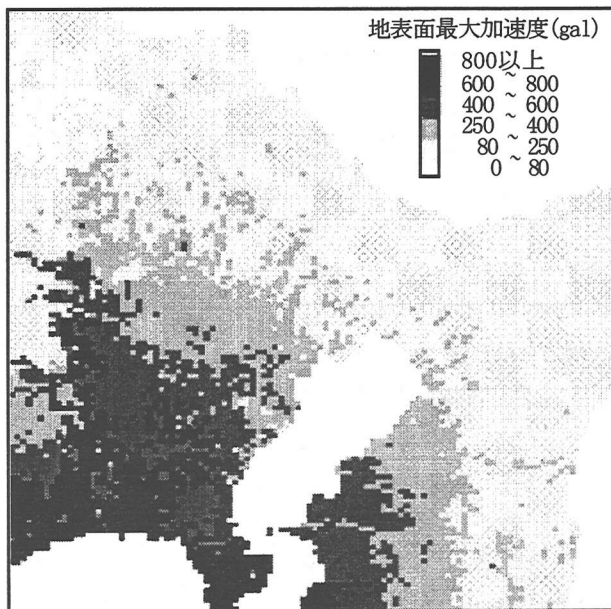
3. 資機材量推定

応急復旧資機材量は次式から求める。

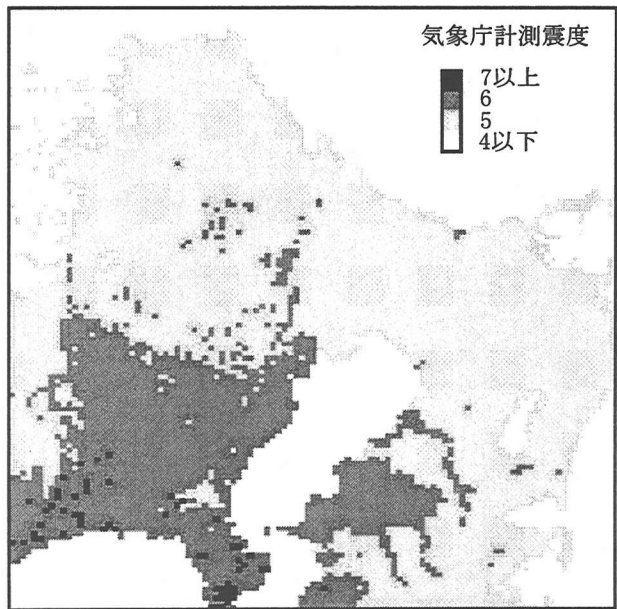
$$\text{震度別被害確率} \times \text{予測震度別対象施設量} \\ \times \text{被災程度別応急復旧資機材原単位}$$

(1) 震度別被害確率マトリックス

ここでは、必要資機材量推定システムのフィージビリティを検証することが目的であるので、道路と鉄道の高架橋を対象を絞り、現時点でアクセス可能なデータベースに基づいて、精度に限界があるもののある程度兵庫県南部地震の実態をふまえた被害確率マトリックスを設定した。表-2と-3がその結果である。耐震補強がされていない橋が対象であることに注意を要する。構造種別、地盤条件などが影響



(a) 地表面最大加速度



(b) 気象庁震度

図-4 地表面最大加速度と気象庁震度の分布

するが、研究目的を照らして無視した。また、被害と関連付けている兵庫県南部地震の震度階分布は中央開発(株)の資料によった。

(2) 震度別対象施設量マトリックス

南関東地域における道路・鉄道の橋梁部の延長の抽出に、GISデータベース³⁾を用いた。求められた橋梁部の分布を2. で評価した震度分布とともに0.5×0.5kmメッシュに重ね書きし図-5と-6に示した。ここで各メッシュ内の橋梁の長さを自動的に求めることは困難なため、橋梁が含まれるメッシュがあればそこに0.5kmの橋梁が存在すると仮定した。震度別に対象施設数量を集計し、マトリックスにしたものが表-4である。

表-2 道路高架橋被害確率マトリックス

震度階 被害程度	被害率		
	5強	6	7
大被害	0.10	0.21	0.21
中被害	0.07	0.14	0.21
小被害	0.42	0.28	0.35

耐震補強なし、35mに1橋脚と仮定

表-3 鉄道橋の被害確率マトリックス

震度階 被害程度	被害率		
	5強	6	7
大被害	0.02	0.09	0.34
中被害	0.08	0.21	0.60
小被害	0.07	0.08	0.09

耐震補強なし、8.5mに1橋脚と仮定

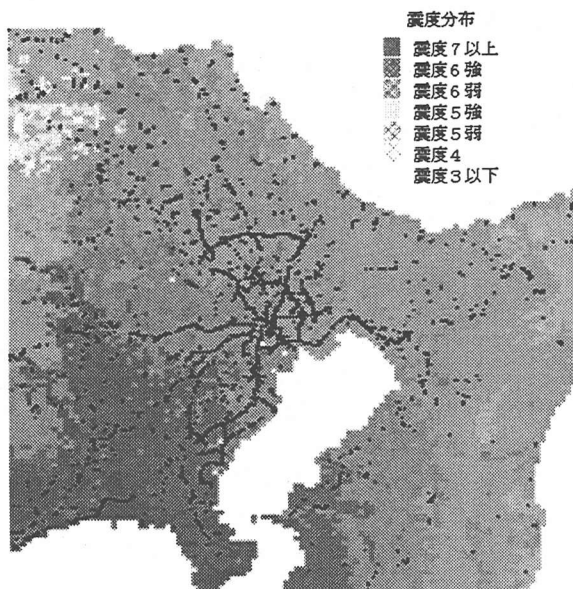


図-5 道路橋の分布

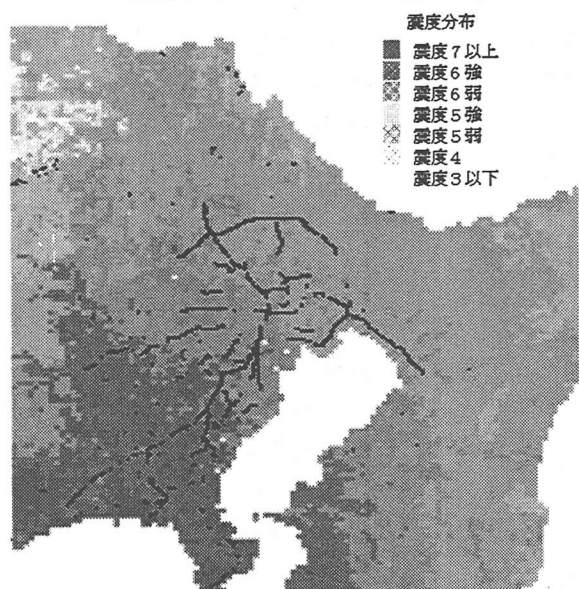


図-6 鉄道橋の分布

表-4 震度階別の高架橋延長

震度階	距離 (km)	
	道路橋	鉄道橋
5 強	465.0	152.5
6	560.0	232.0
7	60.0	0.5

表-5 代表的な応急復旧資機材原単位 (1kmあたり)

	主要機械 台・日	延べ人員 人・日	主要廃棄物 m ³
大被害道路橋*	6,938	18,988	11,000
中被害道路橋	4,575	47,811	—
小被害道路橋	170	980	552

* : 再構築が含まれていないことに注意

表-7 必要な主要資機材量・人員

主要機械 台・日	3,793,000
延べ人員 人・日	21,219,000
主要廃棄物 m ³	3,833,000

表-6 代表的な応急復旧資機材原単位 (1kmあたり)

	主要機械 台・日	延べ人員 人・日	主要廃棄物 m ³
大被害鉄道橋*	45,740	299,850	38,000
中被害鉄道橋	13,720	75,855	12,950
小被害鉄道橋	2,022	5,672	573

* : 再構築を含む

(3) 被災程度別応急復旧資機材原単位マトリックス

応急復旧に必要な資機材量は被災の程度や構造種別によって当然異なるが、系統的な調査事例が見あたらない。ここでは、阪神淡路大震災における橋梁の代表的な応急復旧現場9カ所における事例をアンケート調査し、道路橋と鉄道橋の被災程度の大中小に応じた単位長あたりの応急復旧資機材量、すなわち原単位を求めた。資機材量の項目は多岐にわたるが、その代表的な項目を合算して、表-5と-6に示す。

(4) 試算結果

表-7が結果である。耐震補強がなされていないという仮定の上であるが、応急復旧工事に要する主要機械が延べ約4百万台日、延べ人員が2千1百万人日と推定された。

4. むすび

上記の試算結果に示された規模の資機材と人員を交通インフラ自体が被災している中で速やかに効率よく動員することはきわめて難しい。ここで適用性を示した応急復旧資機材量推定システムに加え、条件付き物流シュミレーションシステム、復旧優先度判定支援システム、等から構築されるインフラ復旧戦略支援システムが必要である。

謝辞: この研究は土木学会が科学技術庁から受託した科学技術振興調整費FS課題「都市基盤施設の地震防災性向上に関する調査」の一部として実施したものである。アンケートにご協力頂いた工事関係者の方々、断層解析コード[®]に関して多岐にわたるご教示・ご討議を頂いた鉄道総合技術研究所 室野技師とその他関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤・北・前田(1997): 兵庫県南部地震における強震域での加速度応答スペクトルの推定, 土木学会論文集, No. 563, pp. 149-159
- 2) Koketsu K. and Higashi S. (1992): Three-Dimensional Topography of The Sediment/Basement Interface in The Tokyo Metropolitan Area, Central Japan, BSSA, Vol. 82, No. 6, pp. 2328-2349
- 3) 童・山崎・清水・佐々木(1996): 計測震度と従来の地震動強さ指標の対応関係, 土木学会第51回年次学術講演会, I-B229, pp. 458-459
- 4) 翠川・小林(1980): 震源域及びその周辺での地表面最大加速度分布の推定, 日本建築学会論文報告集, No. 290, pp. 83-92
- 5) 建設省国土地理院 国土庁計画・調整局(1992): 国土数値情報 (改訂版)
- 6) (財) 鉄道総合技術研究所(1998): 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(案)