

特集 「自然災害にそなえる」

総括的被害予測に基づくインフラ施設の地震対策効果評価手法

松田 隆 佐藤 清

Blanket Evaluation Method of Antiearthquake Measures for Infrastructures

Takashi Matsuda Kiyoshi Sato

Abstract

Infrastructures consist of plural scattered facilities, so the effects of partial damage to these facilities may affect their overall function. For seismic retrofitting of existing infrastructures, it is very important to select structures to be enforced from the aspect of earthquake intensities and structural conditions. In parallel with determining seismic retrofitting rank, a target degree of seismic performance and highly cost-effective countermeasures should be investigated. The authors propose a prediction system for total loss of infrastructures caused by a certain large earthquake. This system includes predicting seismic motion including underground motion, determining simple seismic safety criteria for each structure group, developing a standard restoration cost evaluation method and developing a standard retrofitting cost evaluation method. One feature of this blanket evaluation method is that damage analysis takes account of site specific earthquake motion caused by an assumed certain earthquake. Therefore, the effect of ground conditions, which must influence structural damage, can be taken into account directly. The standard restoration cost evaluation method is based on actual achievement after the 1995 Kobe Earthquake. The proposed method can be used to determine the total amount of earthquake damage to certain infrastructures and to develop an economical method for estimating seismic reinforcement.

概 要

複数の構造物群で構成されるインフラ施設は、その一部に機能障害が生じても全体機能が大きく低下する場合がある。既設インフラ施設の地震時機能低下を合理的に抑制させるには、地震動の揺れの観点及び構造特性から被害が生じる可能性のある構造物を抽出し、どのように補強していくかをシステムティックに決めていくことが費用対効果の面で要求されている。地震被害予測システムQuake Rangerを主体とする本手法は、広域の地下を含めた地震動予測、簡易被害判定法、標準復旧費用算定、及び、標準耐震補強費用算定で構成されている。大きな特徴は、想定する地震による検討対象地点の地震動を基に簡易被害判定を行うところにある。このことによって、これまで指摘されている地盤状態の影響を直接反映することができるようになった。被害額の基となる復旧費用に関しては兵庫県南部地震の実績をもとに設定した。これらを基に、点在する施設群の被害総額と耐震補強の効果を経済的側面から評価することが可能になった。

1. はじめに

インフラ施設は、複数の構造物群が連続あるいは点在する形で存在しており、その一部に機能障害が生じた場合でも、全体機能が著しく低下することが過去の震害で見られる。例えば、平成7年度の運輸白書によると、兵庫県南部地震での山陽新幹線・新大阪～姫路間92km（全区間の約15%）の運休によって、山陽新幹線全輸送人員の71%が影響を受けたと報告している。実際の被害延長は運休区間より遥かに短く、僅かな物的障害が、大きな経済的影響をもたらした例と言える。このような事例は多くの地震で経験しているが、問題の解決には、想定した地震に対して、その一部の被害が「どこに」「どのような規模で」生じるかの予測が重要となる。様に耐震性を向上させるには経済投資面からの制約を受けることから、巨大地震後においてもインフラ施設の全体機能を

維持するためには、構造物群のうち最も弱いところ、あるいは大きな地震力が作用する場所から耐震性を向上させることが合理的である。特に、既設インフラ施設を対象にした場合、大量施設の被害予測が要求される。また、建設年代も異なる構造物群が対象となることから、それぞれの保有耐震性能評価を可能な限りシステム化することが望ましい。

著者のグループでは、その第一歩として、広域の地震動予測と構造物特性の両者を考慮した地震被害予測システムQuake Mapper^①、Quake Ranger^②を開発してきた。このシステムの主なターゲットは、地震対策の優先度の選定である。

耐震補強を含む地震対策においては、当然のことながら被災時に保持すべき最低限の機能を明確にして、機能停止による営業損失も考慮した費用対効果の観点から対策のグレードが設定される。巨大地震に対しては、一時

的な供用停止も選択肢となりうるが、その場合、できるだけ早期の供用再開が可能な状態にしておくことが重要である。技術的問題はもちろん、人員・資機材の調達、施工ヤードの確保、廃棄物の処理など、混乱した状態下での復旧のため、事前準備がないと工事の進捗は常時にくらべ大幅に遅れる。このことによる営業損失が復旧費用を上回ることもあるため、100%ではなくても、復旧を迅速に進めるための対策も有効である。この点でも、営業損失など間接被害を含めた総合的な評価が重要になってくる。

地震対策は、構造物の耐震性向上となるハード的な面と、ネットワーク化など施策としてのソフト面の対応がある。政府の指導もあり、構造物の地震対策はかなり進んできているが、残された地震対策は補強工法の適用が困難な場所であることが多い。また、補強工事の費用対効果を明確にする必要もある。我々はこの点を考慮して具体的な工法を開発している。

本報告は、構造物単体では無く、一連のインフラ施設を対象にした地震被害予測手法の基本的な構成を述べるものである。さらに、効果的な耐震対策や復旧方法の例を紹介する。

2. 現状施設の被害分析及被害額評価手法

効果的な耐震対策を行うためには、現状の施設の耐震性を的確に把握し、想定される地震に対する被害の程度を精度よく評価することが必要となる。なお、想定地震をどのように設定するかは重要であるが、別途資料を参

照されたい。

まず、構造物個々の被害を予測する手法として、簡易予測式によるものと構造解析等による詳細な予測手法とがある。前者は過去の被災事例や実験結果などから構築された簡易式を用い、予測される震度や最大加速度の値などからおおよその被害の程度を予測するものである (Fig. 1参照)。被害の詳細までは予測できないが、少ない情報によって短時間で予測できるため、多数の構造物の被害を把握するには便利な手法である。

一方、後者の動的解析などによる詳細手法では、構造物のどの部材にどのような損傷が生じるといった詳しい被害状況を予測することが可能であるが、精度を高めるためには解析条件として多くの入力情報が必要であり、予測にかかる費用と時間も大きくなる。例えば、Fig. 2に示す、液状化地盤中の管路の浮上に関する安定性では、FEM手法を用いて、浮上量と管路の応力状態が同時にわかる。ただし、これら変形応力状態は入力地震波によっても異なることに留意は必要である。

次に、個別の構造物被害がインフラ施設全体の機能にどのような被害を及ぼすのかを分析・評価する必要がある。場所による地震の揺れの違いや、構造物の建設年代や構造形式による耐震性能の違いにより、被害の大小が生じる。問題は構造物の重要度や特性によって、「被害は大きい機能が影響は小さいもの」「被害が小さい機能が大きな影響を与えるもの」があることである。それらを踏まえ、総合的な評価を行う必要がある。その際、システムのネットワーク上に被害予測結果を落とし込んでいくのが全体把握に役立つ。

湾岸施設の簡易被害想定(1)

対象地点	神戸六甲アイランドRC5	構造形式	重力式
地表面最大加速度 A (gal)	500	作用震度 $K_e=$	0.27
完成年度	S35	破壊震度 $K_c=$	0.2
備考	液状化が発生する場合		

液状化発生	○ (PL \geq 15)
非液状化	○ (PL $<$ 15)

完成年度と破壊震度の関係

構造	完成年度毎の破壊震度(K_c)		
	～昭和24年	昭和25年～昭和34年	昭和35年～
重力式	0.13	0.16	0.20
矢板式	0.16	0.16	0.20

PL $<$ 15の場合

・1次評価

	$F_c=K_e/K_c$		1次評価
R(%)	$-12.7+14.5 \cdot F_c$	6.6	III
最大はらみ出し量(cm)	$R \times H$	119.0	

◎被害程度の評価

A

被害程度の評価

A	使用不能と推定される被害(船舶の接岸が不能)	1次評価 III, IVおよびPL \geq 15
B	陸上施工を主体とした補修で、短期間に復旧できる被害(船舶の接岸が可能であるが、そのままでは、荷役が行えない)	1次評価 II
C	無被害または、利用上支障のない被害(補修すること無く船舶の接岸および荷役が行える)	1次評価 0・I

盛土の簡易被害想定

盛土位置	一般国道7号能代南バイパス秋田県能代市浅内			
地表面最大加速度 gal	300	施工年度	S60	○を付ける S61年以前 ○ S61～H12 H13～
液状化指数	PL= 30	変状	○を付ける 有り 無し ○	耐震対策 有り 無し ○
液状化対策工の有無	どちらかに○を付ける		有り 無し ○	
備考				

液状化発生	○ PL \geq 15	地山勾配 α	100.0	山岳部	
非液状化	○ PL $<$ 15			平地部	○

・ステップ I

地盤条件	山岳部の場合		平地部の場合		区分
	項目	区分	項目	区分	
盛土条件	地山勾配 α	-	盛土高 m	2.2	c
	急勾配な盛土		標準勾配の盛土		
盛土条件	急勾配な盛土		急勾配な盛土		d
	標準勾配の盛土		標準勾配の盛土	○	

* 液状化発生の場合は、盛土高のみでも良い。

・ステップ II

1次評価:	C1
-------	----

・ステップ III

2次評価:	B2
-------	----

◎耐震性評価: B

耐震性評価

ランク	評価
A	大被害
B	中被害
C	小被害
D	被害なし

Fig. 1 簡易判定法の例 (港湾施設, 盛土, EXCEL形式)
Simple Seismic Safety Criterion Methods (Port Facilities and EMBANKMENT, EXCEL Type)

総合的な被害把握には労力を要するため、その構造物が施設の機能に果たす役割、必要な性能を鑑みた上で、目的に応じた予測手法を用い、的確な機能全体の把握を行うことが大切である。例えばFig. 3は著者のグループで開発したQuake Rangerで被害予測を行ったものである。構造種別ごとに構築した簡易被害予測式に基づいて各構造物の被害状況を地図上に表示させ、施設の全体被害把握を容易なものにしている。その主な特徴を以下に示す。

- ・種々の想定地震動を設定可能
- ・GISを活用し、任意の地域を選択可能
- ・地盤応答解析により、三次元的な地盤の地震時応答の表示が可能
- ・液状化による様々な地盤被害を簡易的に評価することが可能
- ・広域にまたがるインフラ施設も、一括して被害評価を実施することが可能

3. 耐震補強工法と費用対効果の考え方

ここでは、耐震補強のグレードを設定する方法、すなわち費用対効果を最大限にするための被害レベル設定の考え方を述べる。

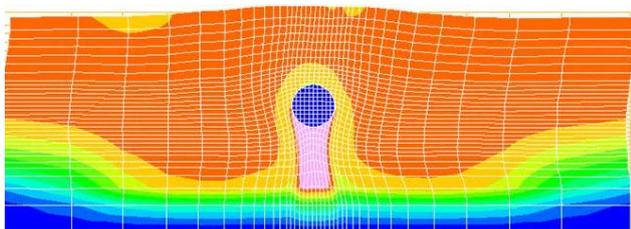
供用中のインフラの高耐震化は、建替え・併設以外は

既存構造物の補強になり、現状の機能を保持することが前提になる。そのため、施設内空間の確保、高架橋下利用など、構造物周辺の機能維持も重要となる。このような施工条件の面で、同じ形式の構造物であっても補強が“やり易い箇所”と“やりにくい箇所”とがあり、ここでは“やりにくい箇所”に対する補強工法を紹介する。

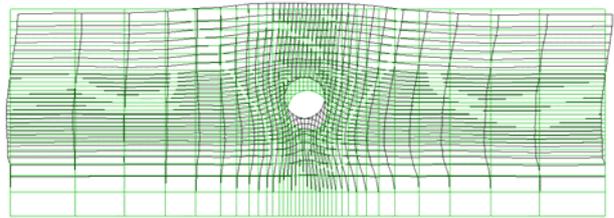
3.1 地震対策の費用対効果の評価方針

地震対策の費用対効果の算定はPML【予想最大損失率(Probable Maximum Loss), PML=予想最大損失(補修費)/再調達費】で評価することになる。この方法は、Fig. 4に示すような、リスク曲線及び地震損傷度曲線で評価することになる。例えば高架橋の場合、レベル2対応の設計がなされていない構造物を補強前の耐震性能として200Galを被害有無の境界値、再構築等の甚大な被害の境界値を350Galと定めるが、具体的な値に関しては構造特性によるため個々の検討が必要である。

目標とする補強レベルは維持する機能すなわち被害レベルを想定することになる。RC構造物の場合、せん断強度が不足し靱性補強を行った場合、強度補強がなされていないためレベル2地震では損傷を受け補修が必要になる。これに対して、基礎を含めた強度補強を行った場合、全体系の耐震性が向上し、レベル2地震後においても補

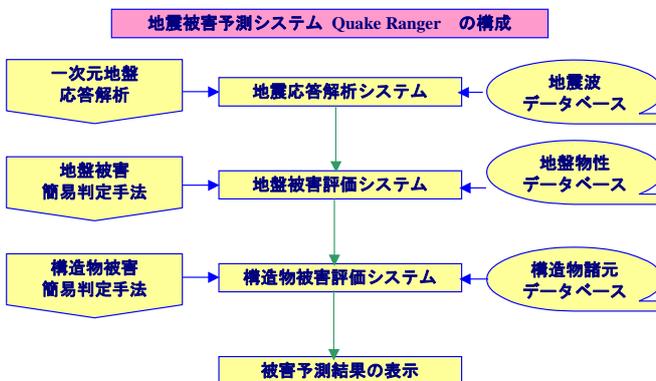


(1) 液状化領域
Liquefaction Condition

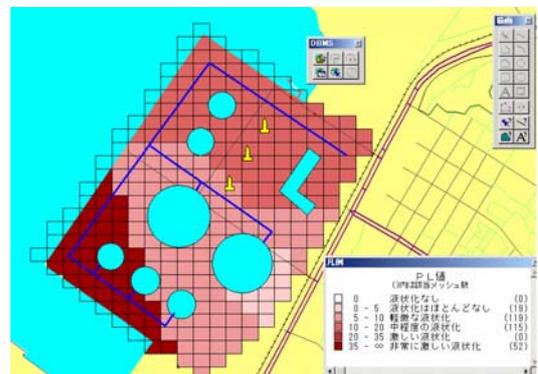


(2) 浮上り変形
Residual Deformation

Fig. 2 詳細解析の例 (管路の液状化被害)
Example of Rigorous Analysis (Liquefaction Damage of Pipeline)



(1) システム構成
System Elements



(2) 液状化範囲を示す例
Example for Liquefaction Area

Fig. 3 GISを利用したQuake-Rangerの構成と評価例
Quake-Ranger Based on GIS System (System Component and Example Result)

修の必要はなくなると考えてよい。最終的には、復旧に関わる予想工費にPMLを加えた指標を用いることにより、地震対策に対する費用対効果が算定できる。

ただし、地震ハザード解析ができない構造物群（例えば、経済的被害統計の少ない場合）は、致命的な損傷を防ぐと共に、軽微な補修作業が発生することを織り込む必要がある。

3.2 鉄筋コンクリート構造物の補強工法

柱・梁においては、Fig. 5に示す手順で補強設計を行うことになるが、基本的に曲げ破壊先行型でない部材に関してはせん断補強になる。せん断補強は靱性増大が主目的であり、基本的には強度を上げない。その理由は、一部の部材の強度を上げた場合、その部材の剛性上昇と減衰性低下により他部材への作用力が増し、構造物全体の強度上昇にならないことがあるためである。具体的には上部構造物の耐震補強の結果、基礎の耐震性が相対的に低下するような場合である。

靱性補強は、鋼板巻き補強工法やアラミド繊維・炭素繊維などの巻き付け工法が一般的である。その特徴は、以下のとおりである。

- 柱周囲だけなので簡易
- 1本ずつできて小規模工事
- 本体を傷めない
- 基礎への影響が無い
- × 本体構造物が見えなくなる
- × 鋼製は塗装や溶接作業が必要

鋼板巻き補強工法などは、小規模ながら機械設備を要し、施工中は周辺での店舗営業などは困難である。そこで、大林組は人力運搬と手押しポンプ程度の工事機械で

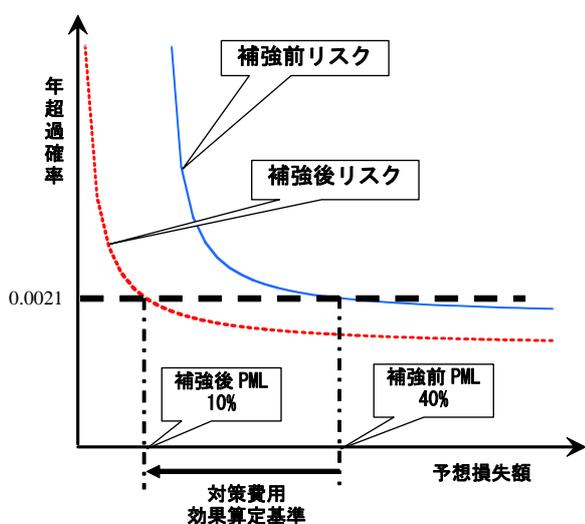
施工できる鋼板パネル工法³⁾を開発した (Fig. 6)。鋼板パネル工法の特徴は、以下のとおりである。

- 人力施工なので、狭隘箇所での施工が容易
- 騒音・振動がほとんど発生しない
- 亜鉛メッキ鋼板を用いることで、塗装不要
- 現場溶接が不要なため、工期短縮が可能
- 工場製品を用いるため、品質が安定

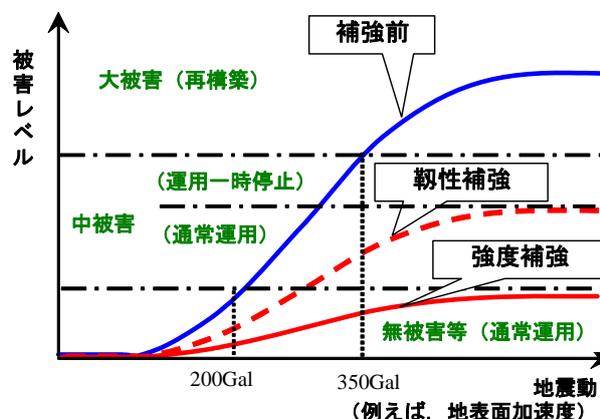
このほか、鋼板パネル工法は複数の箇所と同時に施工が可能なので現行機能の停止は殆どない。

曲げ耐力が不足する場合、強度補強が必要となり、ブレース工法やRC巻立工法が一般的である。ただし、これらの工法では、工期がかかることや、引張りアンカーによる本体損傷の可能性がある。また、上部構造物から基礎へ伝達される地震時反力が増すため、基礎の安定性の照査が必要になる。

この点、ブレースにダンパーを付けることによって、振動自体を小さくすることが有効になってくる。この目的で開発した圧縮型ブレース (X型) 工法⁴⁾ (Fig. 7) は、ブレース連結部にせん断パネルで構成するダンパーがあり、このダンパーの変形によって伸張側のブレース定着部にも引張り変形は生じない。そのため、既設構造物への接続に強度設計上のアンカーが不要となり、このほか地中部分の掘削を極力少なくすることも可能となる。ダンパーの強度設計で上部工の全体耐力が調整できるとともに、減衰性の向上により、基礎への影響を最小限にすることが可能である。この種の補強は構造物ユニットを補強するため、柱や梁などを個々に補強する必要がなく、集中配置が可能である。また、コンクリート表面が見えるため、メンテナンスが容易である。



(1) 地震リスク関数
Seismic Risk Curves



(2) 地震損傷度曲線
Seismic Fragility Curves

Fig. 4 地震リスク関数と地震損傷度曲線
Seismic Risk Curves and Seismic Fragility Curves

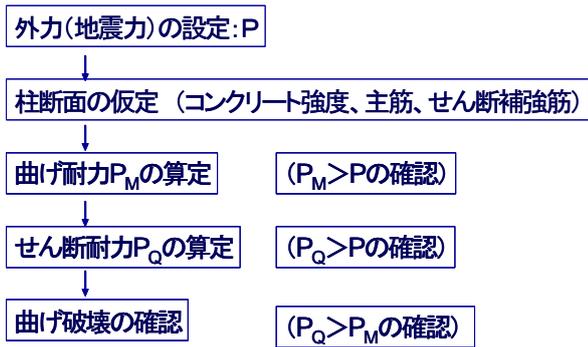


Fig. 5 RC構造物の耐震補強検討フロー
Seismic Reinforcement Investigation Flow
(for RC Structures)

3.3 基礎構造物の補強工法

基礎の高耐震化は、施工が困難な構造物近傍あるいは直下地盤を取り扱う必要があり、既設部分と増設部分の接合方法など、上部構造物の耐震補強に比べ難しい部分がある。

シートパイル基礎工法⁵⁾ (Fig. 8) は、これまで掘削時の仮設要素であったシートパイルを本体利用するものである。シートパイル打設には圧入工法を用いることで、既設構造物への影響はなくすることができる。

元来、シートパイル基礎は新設工法として開発されてきたものであるが、耐震補強にも効果的である。Fig. 8の施工写真は、鉄道施設への適用例を示したものである。ただし、既設構造物への適用の場合、接合方法のみならず、既設基礎の応力状態が変わるため、基礎本体の健全性の検討も必要である。接合方法に関しては、穴あきジ



Fig. 6 RC柱の耐震補強工法・鋼板パネル工法
Steel Plate Panel Method (for RC Structures)

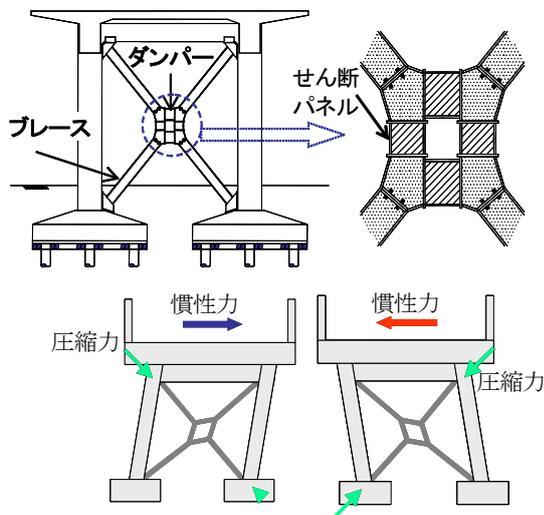


Fig. 7 圧縮型ダンパー工法
X-Type Compressive Steel Frame Damper (for RC Structures)

ベル鋼板の採用,あるいは既設基礎上面を囲い込む方法などがあり,前述したように,既存基礎部分の構造照査が重要となる。

3.4 盛土構造物の補強工法

土構造物は河川,鉄道,道路などで主に用いられているが,それぞれに要求されている機能に応じて補強方法の選択がなされる。例えば鉄道盛土の場合,縦断および横断方向の天端不同沈下量を許容値以内に保つことが管理基準の一つになる。盛土の沈下には,①基礎地盤の

沈下および盛土本体の揺込みによる沈下と,②堤体破壊による変形に伴う沈下の要因がある。特に,基礎地盤の液状化や滑りが予想される軟弱地盤の場合,その変形を抑制する方法として,シートパイルとタイロッドによる下部地盤の拘束が有効である。また,盛土本体の変形抑制に関しては,低圧式アースネイリング工法⁶⁾やラディッシュアンカー工法による堤体補強が有効である。これらの補強は変形を減少させることが目的であり,一般的に膨大な延長を有する盛土全体の耐震対策としては,費用対効果の面から難しい場合もある。その場合,一時

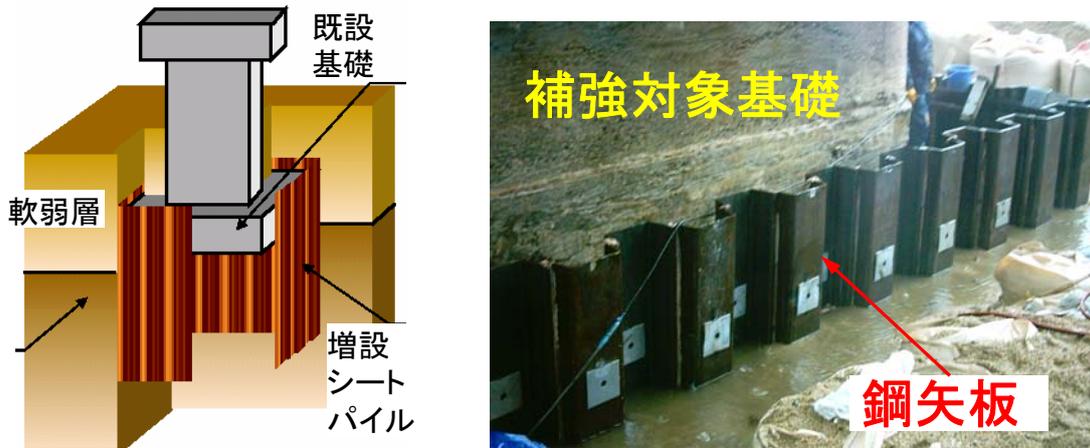


Fig. 8 基礎の耐震に用いるシートパイル基礎工法
Sheet Pile Foundation Method for Existing Foundation

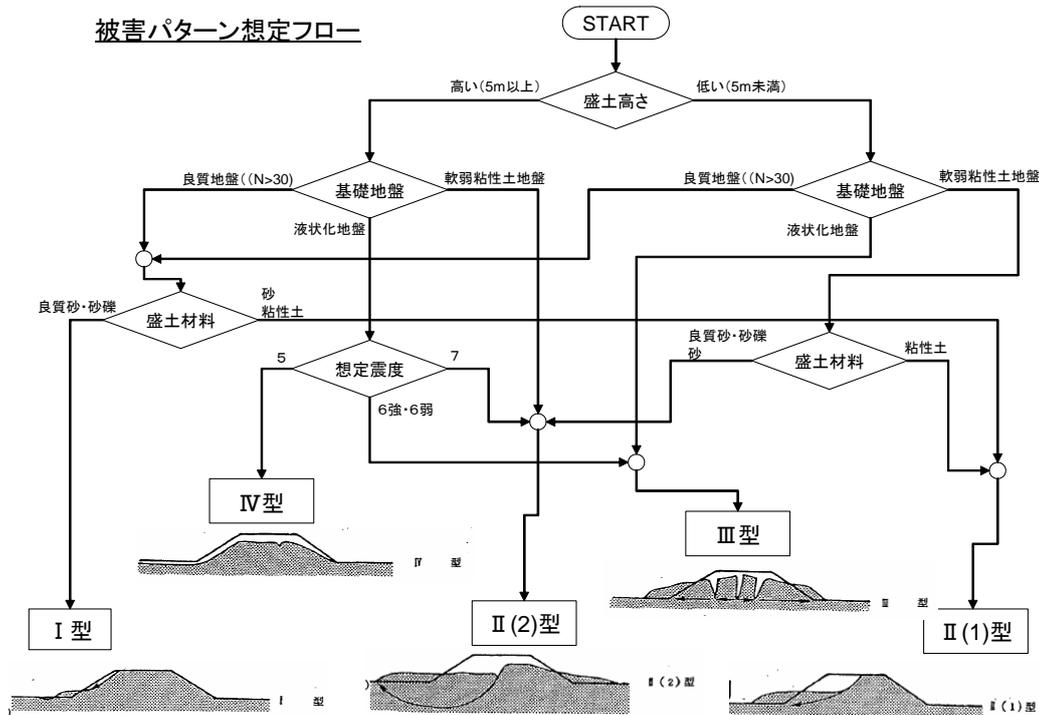


Fig. 9 盛土の被害パターン設定フロー
Determination Flow for Damage Pattern of Embankment

的な機能停止を容認の上で、早期復旧を前提に設計を行う場合もある。

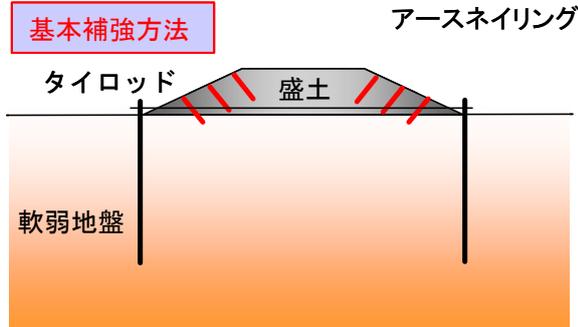


Fig. 10 盛土の標準的耐震補強工法
Standard Seismic Reinforcement for Embankment

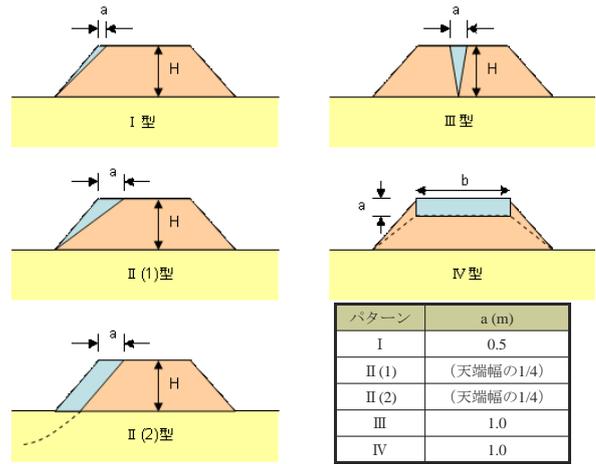


Fig. 12 被災盛土の崩壊土量の算定方法
Evaluation Method for Damaged Embankment Volume

4. 盛土構造物への適用例

架空の盛土構造物を主体とする鉄道路線区間における被害例を対象とし、耐震設計がなされていない場合の復旧費用総額と、耐震補強をした場合の費用総額を比較した例を示す。想定地震は、「鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計」における岩盤上の波形（スペクトル2）を用いた。想定地域は神奈川県平塚市を中心とする平野地域の延長3 km区間とした。

まず、Fig. 9に従って被害パターンを設定し、その延長距離を乗じることで被害土量を算定した(Fig. 11参照)。施工土量は、Fig. 12に示す方法で算定した。ここでは、盛土高さHと天端幅の1/4幅あるいは一律1mもしくは0.5m幅として算定した。これは、鉄道盛土及び河川盛土の被害事例を参考に決めたものである。

復旧方法は、後述する早期復旧方法を採用した(Fig. 14参照)。復旧工事に当たっては、Fig. 13に示す手順に従い、Table 1に示す工期及びTable 2の工費を設定し、被害総額を設定した。なお、崩壊土撤去に関しては、兵庫県南部地震での工事記録を参照して設定したものである。工費に関しては、直接工事費として算定している。

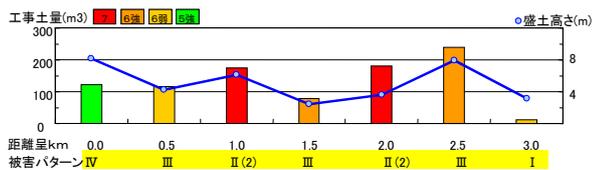


Fig. 11 各距離程における被害パターンと施工土量
Damage Pattern and Workmanship Soil Volumes

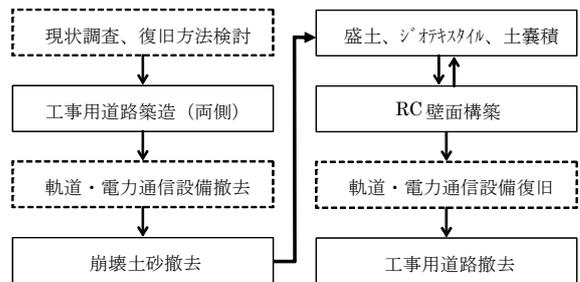


Fig. 13 盛土の標準復旧方法（Ⅲ型破壊）
Standard Recovery Procedure for Embankment

Table 1 100m当りの復旧工事日数
Day Table for Recovery Works (Par 100m)

盛土高(m)	工事用道路	崩壊土撤去	復旧工	計(日)
2	1	1	2	4
4	2	1	2	5
6	2	3	3	8
8	2	4	4	10
10	2	6	5	13
12	2	8	5	15

Table 2 1m当りの工費 (万円/m)
Standard Cost for recovery Works
(Par 1m, unit: Million Yen)

盛土高(m)	工事用道路	崩壊度撤去	復旧工	計
2	10	10	40	60
4	10	25	70	105
6	10	40	100	150
8	10	60	130	200
10	10	80	170	260
12	10	110	200	320

Table 3に被害総延長と工事土量を被害パターン毎に分類して示す。被害パターンはIV型が卓越しており、総被害額の1/3を占める。総延長3キロの対象区間のうち5/6区間が被害を受ける想定になっているが、被害総額は約22億になっている。

Table 4には、Fig. 10に示す補強対策工を施した場合における、補強工事費の内訳と復旧費を示す。この場合の被害は、そのほとんどが軽微なI型である。このような、被害を出さない対策も可能であるが、ここでは対策前の復旧費を超えないことを前提に対策工の仕様を決定した。この検討から、補強ありと補強なしの総費用の差は、2億程度で、補強なしの場合の10%に過ぎない。すなわち、事前対策による直接工事費低減に関する効果は、大きくないことがわかる。

ただし、Table 5に示す復旧日数を見ると、補強なしの場合44日、すなわち1ヶ月半要するのに対して、補強ありの場合10日程度で完了する。この差は大きく、営業収益に対する損失は対策をしない場合かなり大きくなることが分かる。

Table 3 被害延長と被害総額

Damaged Distance and Amount of Recovery

被害パターン		延長(km)	工事土量(m ³)	工事費(万円)
	I型	0.22	360	8000
II(1)型	0.12	480	2100	
II(2)型	0.42	6400	5億6000	
III型	0.72	9600	8億0000	
IV型	1.05	17000	7億2000	
合計	2.53	33840	21億8100	

Table 4 耐震補強効果の評価

Evaluation for Seismic Reinforcement of Embankment

単位 (万円)	補強対策費		復旧費	総費用
	地盤補強	本体補強		
補強なし			21億8100	21億8100
補強あり	8億2000	6億2000	5億3000	19億7000
工事差額				2億1100

Table 5 復旧日数による耐震補強の費用対効果

Comparison of Works Day

	(1ブロック当り復旧日数) × (ブロック数) ÷ (パーティー数)	復旧 日数
補強なし	平均9日 × 24 ÷ 5	44
補強あり	平均5日 × 10 ÷ 5	10

5. 被災時の迅速な復旧対応

これまでの復旧支援の経験から、早期復旧の鍵は事前の備えにある。具体的には、①資料の整備（設計・竣工図書等）、②被害程度に応じた標準的な復旧工法の事前選定、③物資搬入ならびに廃棄物搬出ルートの確保、などである。1995年兵庫県南部地震におけるこれらの経験は2004年新潟県中越地震で大いに活かされたが、特定の物資が貧窮した場合の調整など、いくつかの課題は残されている。

鉄筋コンクリート造の鉄道高架橋に関しては、概ね4段階の被害状況に合わせた標準的な復旧方法が提案されており（Table 1）、かなりの部分で既存構造物が再利用できる。ただし、基礎が損傷した場合は掘削作業が伴うため、復旧は長期化する。そのため、上部工が下部工に先行して損傷することを確認しておくなど、構造物全体系での合理的な耐震性確保が望まれる。

Table 6 鉄道高架橋（RC）の標準的な復旧方法
Standard Classification for Restoration
Method for Railway Viaduct

被災レベル	復旧対応例
①軽微（表面クラック）	無収縮モルタル補修
②小被害	エポキシ樹脂注入
③中被害（鉄筋破断なし、せん断クラック）	鋼板補強 アラミド繊維補強
④大被害（鉄筋座屈・破断）	再構築

土構造物に関しては、大被害の場合、再構築を余儀なくされることが多いが、緊急復旧に際して良質土の大量確保が困難となる。このような場合、補強土工法としてジオテキスタイルの利用やアンカーを用いたRRR工法等が活用できる。ただし、大量の土砂搬出と廃棄に関しては、行政を中心とした地域全体での復旧復興計画に従うことになる。

具体的にはFig. 14に示すように、盛土の崩壊パターンによって復旧仕様を決定することになる。ここでは、軽微な本体表層の土羽打ち以外は、早期復旧を念頭に人工材料を用いた復旧工法を標準とした。

なお、被害の軽減と復旧の迅速化に関しては、近年、情報の活用が注目されている。被害の軽減については、一部で実用化されている気象庁の「緊急地震速報」の利用が期待される。震源近傍で地震動が観測されてから対象とするインフラ施設に大きな揺れが到達するまでの間に、何らかの対応をとることで、施設の機能維持を図ることができる可能性がある。具体策はまだ模索中である

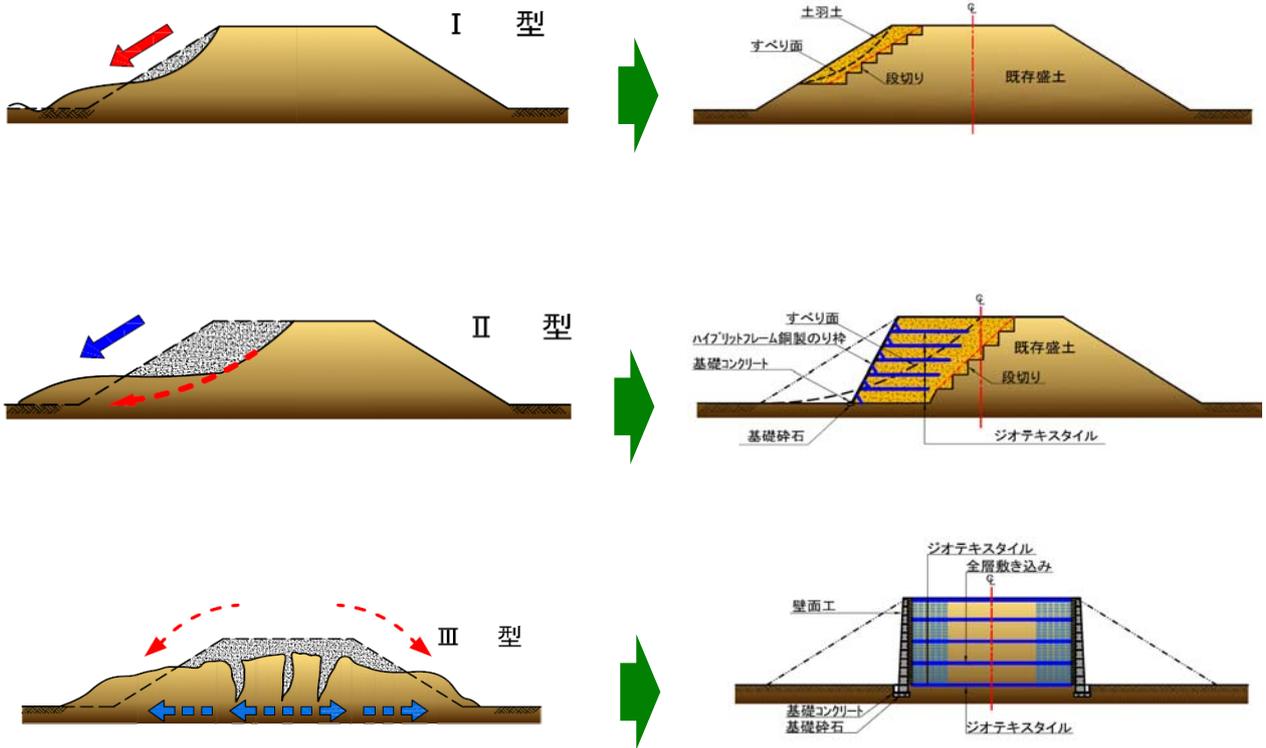


Fig. 14 盛土の復旧工法案
Representative Restoration Method for Embankment

が、構造的にもシステムのにも、この情報を利用した技術が今後望まれる。

また、復旧の迅速化には、地震後の被害情報をいかに的確に入手し、それに基づいた対応をとるかが重要である。復旧対応には自前の施設の被害状況だけでなく、周辺の被害状況の把握も必要となる。例えば、Fig. 15は、緊急地震速報の情報を、前述したQuake Rangerに入力し、検討対象区域の被害予測を行ったイメージである。

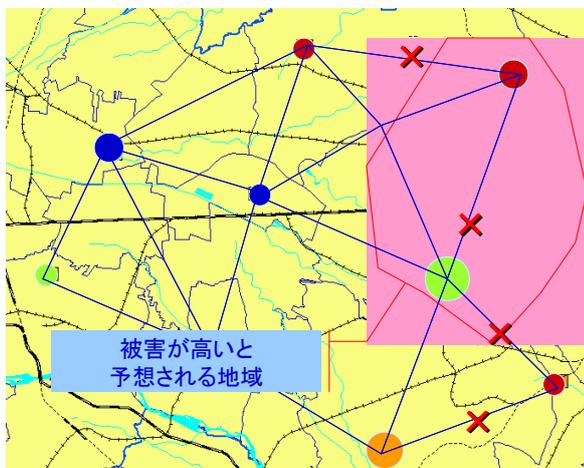


Fig. 15 地震直後の被害状況把握のイメージ
Damage Forecast System Soon After Earthquake Event

被害の大きいところのみならず、ネットワークとして弱点となる地域をいち早く見つけ出し具体的な復旧計画を進めることによって機能停止は最小限になるものと考えられる。

さらに、物資移動の支援として、災害時の経路選択システムが重要となる。Fig. 16は、GIS上の道路情報に、通行止め区間を入力し、その上で最適経路検索を行うものである。このとき、事前に入力している、物資保管拠点と存在する大林組の拠点が検索の要点になっている。

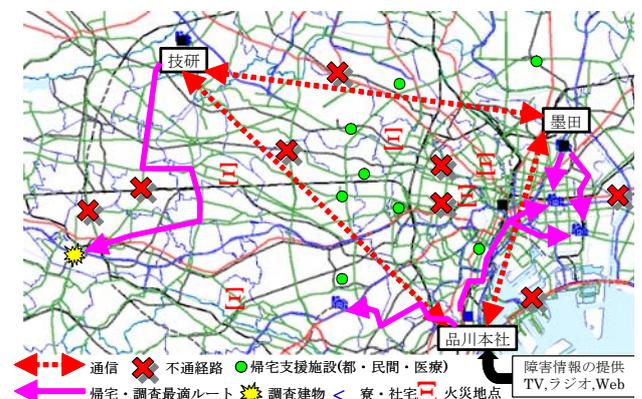


Fig. 16 地震直後の物資移動経路の選定イメージ
Choosing System for Transportation Route

被害情報は時間の経過とともに変化するものであり、復旧の各段階に応じた情報の入手手段や利用方法について、復旧計画とともに事前に検討しておくことが迅速な復旧に寄与する。

6. まとめ

地震時にインフラ施設の全体機能を維持するため、総括的な被害予測に基づく各構造物の補強工法を紹介した。また、費用対効果を鑑み、あえて一時的な機能停止を許容し、早期復旧を目的とした耐震対策も紹介した。このときは、物資調達等の観点から、事前にその可能性がある場所を予測した上で、復旧方法も事前に決めておくことが重要になる。

このように、施設が設置されている空間的な広域性と、地震の事前対策と事後の復旧など時系列における両者の最適を考慮した総括的な耐震性の確保が、これからの耐震対策を考える上で必要である。

参考文献

- 1) 竹本 靖 他：大地震を想定した危機管理システム，大林組技術研究所報特別号，1996年
- 2) 副島紀代 他：土木構造物の地震被害予測システムの開発，大林組技術研究所報 No. 67，2003年
- 3) 岡野素之 他：鋼製パネル組み立てによるRC柱の耐震補強工法の開発，コンクリート工学，Vol. 44，No. 8，2006年8月
- 4) 吉田幸司 他：圧縮型鋼製ダンパー・ブレースによるRCラーメン高架橋の耐震補強工法構造工学論文集，Vol. 50A，2004年3月
- 5) 神田政幸 他：シートパイルとフーチングを組み合わせたシートパイル基礎の提案，土と基礎，Vol. 51，No. 11，PP. 8-10，2003年11月
- 6) 永尾拓洋 他：液状化地盤上の既設盛土におけるネイリング工法による耐震補強の効果確認試験，第59回土木学会年次学術講演会講演概要集，3-229，2004年9月