

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1139

September 2006

既存施設の機能向上を考慮したライフサイクルシナリオ評価に関する検討

岩波 光保

山内 浩

加藤 絵万

横田 弘

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 検討方針	5
2.1 係留施設が保持すべき性能と要求性能の変化	5
2.2 ライフサイクルコストの定義	6
2.3 耐震性能に関する評価項目と検討方法	7
3. 地震危険度の評価方法	7
3.1 震源断層を特定しにくい地震	7
3.2 震源断層を特定できる地震	8
3.3 地震動特性値の推定	8
3.4 地震危険度の評価	9
3.5 設計供用期間中における地震の発生回数	9
3.6 結果の表現方法	9
4. ライフサイクルシナリオの設定方法	10
5. 期待復旧費用の算定方法	10
5.1 栈橋式係船岸	10
5.2 重力式係船岸	12
5.3 矢板式係船岸	15
6. 社会的損失の考慮方法	15
7. 既存施設のライフサイクルシナリオ評価のための試算	15
7.1 検討対象施設と検討条件	15
7.2 ライフサイクルシナリオの設定	17
7.3 地震危険度の評価	19
7.4 栈橋部のライフサイクルコスト	19
7.5 土留め護岸部のライフサイクルコスト	22
7.6 ライフサイクルシナリオの評価結果	25
8. まとめ	25
9. あとがき	25
参考文献	26
付 録	28

Life-Cycle Scenario for Functional Improvement of Existing Port Facilities

Mitsuyasu IWANAMI*

Hiroshi YAMAUCHI**

Ema KATO*

Hiroshi YOKOTA***

Synopsis

While lots of port facilities have been constructed for these decades, some of them will be reaching the end of design service life. To keep safety and serviceability of those facilities over the required level, it is essential to perform proper maintenance and repair. From this purpose, it is desired to select an appropriate life-cycle scenario among the alternatives from the viewpoint of life-cycle costs.

In case of some port facilities which have been in-service for many years, residual performance may not be satisfied with the criteria required at present, because the function of facility has been changed or upgraded from the original one. In particular, seismic performance of port facilities has been considerably upgraded, since the Hyogoken-Nambu Earthquake occurred in January 1995. Many projects to improve seismic performance of existing port facilities are on-going nationwide in Japan. Since port facilities provide us with evacuation sites and bases for transporting emergency commodities immediately after an event of earthquake, it is necessary to realize seismic performance improvement of existing port facilities.

In this study, a method of setting and evaluating appropriate life-cycle scenario for functional improvement of existing port facilities was examined in order to realize rational maintenance and to assess the effect of functional improvement on reduction in life-cycle costs.

Key Words: existing facility, functional improvement, maintenance and repair, life-cycle cost, life-cycle scenario

* Project Researcher of LCM Research Center for Coastal Infrastructures

** Ex-Trainee of LCM Research Center for Coastal Infrastructures (Japan Port Consultants, Ltd.)

*** Executive Researcher, Director General of LCM Research Center for Coastal Infrastructures

3-1-1 Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan Port and Airport Research Institute

Phone : +81-(0)46-844-5089 Fax : +81-(0)46-844-0255 E-mail: iwanami@pari.go.jp

既存施設の機能向上を考慮した ライフサイクルシナリオ評価に関する検討

岩波 光保*
山内 浩**
加藤 絵万*
横田 弘***

要 旨

高度経済成長期に大量に整備された港湾施設では、老朽化による劣化・変状の発生が顕在化してきている。このような施設の安全性や機能を確保するためには、定常的な維持管理と適時適切な補修等の対策が不可欠である。このためには、対象となる既存施設に対して、複数のライフサイクルシナリオを設定し、ライフサイクルコスト等の観点から最適なシナリオを検討するとよい。

また、建設後長期間が経過した既存施設では、当該施設に要求される機能が変化している場合もあり、建設時に要求性能を満足していた施設も要求性能の変化に対応できず、機能が陳腐化した施設が増加してきている。特に、施設の耐震水準については、1995年1月に発生した兵庫県南部地震を契機に見直しが行われ、2003年8月に国土交通省の「港湾の防災に関する研究会」が港湾の防災対策として耐震強化を押し進めることを提言している。港湾施設は地震時の避難、救援および緊急輸送の拠点として重要であるため、耐震化による既存施設の機能向上は喫緊の課題である。

そこで本研究では、老朽化した既存施設の機能向上の1つとして耐震化を取り上げ、効率的な維持管理および地震対策の投資効果の定量評価を実現するためのライフサイクルシナリオ評価の考え方について検討を行った。

キーワード：既存施設，機能向上，維持管理，ライフサイクルコスト，ライフサイクルシナリオ

* LCM研究センター 特任研究官

** 前 LCM研究センター 依頼研修員（現（株）日本港湾コンサルタント）

*** 研究主監，LCM研究センター長

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所

電話：046-844-5089 Fax：046-844-0255 E-mail: iwanami@pari.go.jp

1. はじめに

港湾施設の整備においては、1950年の港湾法制定を契機に直轄事業および補助事業による整備方式が整えられた。その後、1960年代以降の港湾整備事業の進展にともない、港湾施設のストックは年々増加し、海上物流の要として、国および地域の経済基盤を支える重要な役割を担ってきている。

しかし、高度経済成長期に整備された大量の港湾施設は、すでに建設後40年以上を経過しており、老朽化した施設が年々増加している。これらの施設では、老朽化によって構造性能が低下し、必要な性能を満足できていない場合も考えられ、このような施設を現状のまま供用を継続することは、安全上好ましくない。

また、少子高齢化社会の進展により労働人口が減少すること、社会保障費の負担が増加することなどから、今後の港湾整備に対する事業費の伸びを従来どおり確保することは難しい状況であるといえる。このような背景を考慮して、高橋ら¹⁾は、港湾施設に必要な維持補修費および更新費の将来予測を行っている。図-1は、港湾整備における全体事業費の伸び率を-2%と仮定したケースの将来予測結果である。これによると、2030年度には、維持補修費および更新費の合計が2003年度の約4倍に達し、港湾事業費全体の約8割を占める結果となっている。このように、全体事業費は減少しても、維持管理および更新にかかる費用は今後ますます増加することが確実である。

また、建設後長期間が経過した港湾施設に求められる機能が建設当初から変化している場合もあり、建設当初

の性能を保持するための維持管理だけでは現在の要求性能を満たすことができず、機能が陳腐化することも考えられる。特に、施設の耐震水準については、1995年1月に発生した兵庫県南部地震を契機に様々な問題が投げかけられ、2003年8月に、国土交通省の「港湾の防災に関する研究会」より、港湾の防災対策として耐震強化を押し進めることが提言されている²⁾。しかしながら、既存施設の耐震化には膨大なコストが必要となるため、耐震強化岸壁の十分な整備にはまだ時間を要する。地震時の避難、救援および緊急輸送の拠点としての役割を求められる港湾施設では、耐震化による既存施設の機能向上および要求性能を保持するための効率的な維持管理が強く求められている。そのためには、地震対策を行う既存施設に対して、複数のライフサイクルシナリオを設定し、ライフサイクルコスト等の観点から最適なシナリオを検討することが、戦略的な維持管理や既存施設の有効活用にとって望ましいと考えられる。このライフサイクルシナリオ評価の方法を体系化し、必要な要素技術を確立することは喫緊の課題である。

そこで本研究では、設計供用期間中における既存施設の地震対策費用、地震被災リスク、補修費用等を算出し、効率的な維持管理および地震対策の投資効果の定量評価を実現するためのライフサイクルシナリオの設定をその評価について検討を行った。本検討は、ライフサイクルシナリオ評価の一例であり、既存施設の設計供用期間中における構造性能を考慮したライフサイクルマネジメント(LCM)技術の確立を目標としたものである。さらに、既存施設の機能向上の1つとして耐震化を取り上げ、地震対策を行った場合のライフサイクルシナリオ評価の考

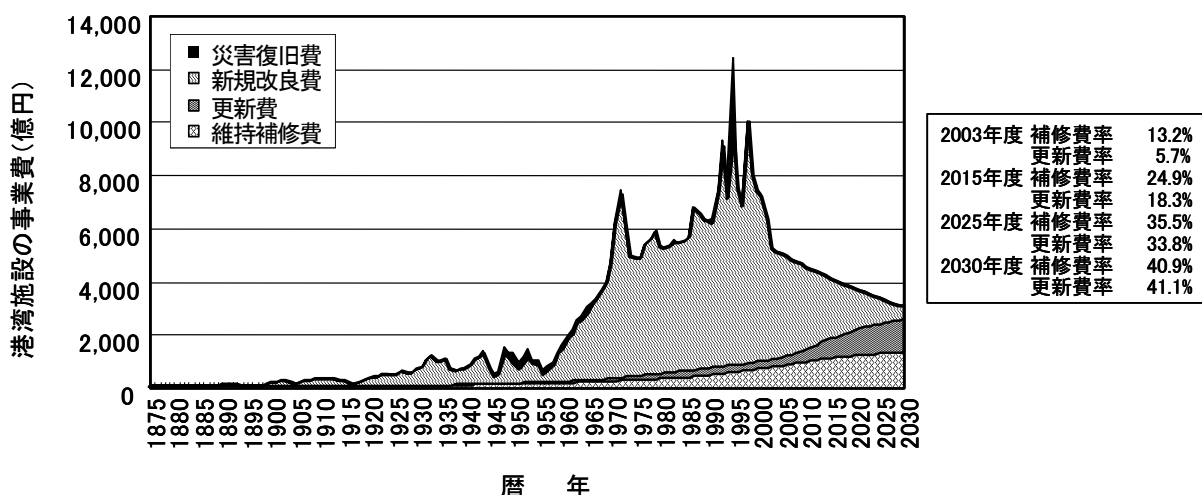


図-1 維持管理関連費用の将来予測 (伸び: -2%の場合)¹⁾

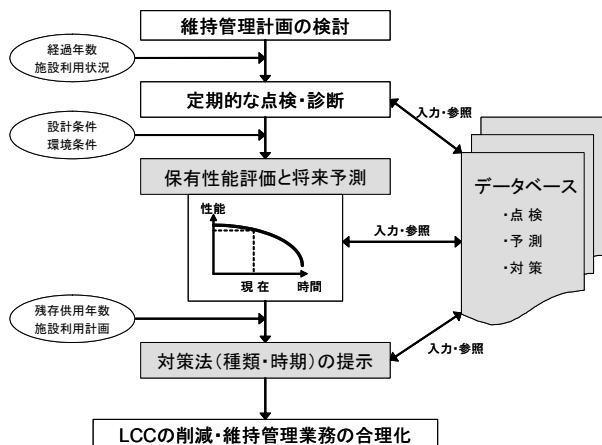


図-2 港湾 LCM の概念

え方についても併せて提案した。

図-2に、著者らが構築を進めている港湾施設の LCM システムの流れ³⁾を示す。本研究の成果は、実構造物の耐久性データの蓄積、設計供用期間を考慮した地震対策や補修対策の選定、既存施設の残存性能評価の観点から、図-2に示した個別技術の高度化に貢献するものである。

2. 検討方針

港湾施設のうち係留施設は、安全かつ円滑な荷役に資するために整備されているが、地震時には避難、救援お

よび緊急輸送の拠点としての役割も期待されている。一方で、栈橋上部工の塩害に代表されるように、材料劣化の進行が速い環境に曝されていることも特徴である。そこで本検討では、既存施設の機能向上のうち、係留施設の耐震化を対象として、適切な維持管理および効果的な地震対策を目的としたライフサイクルシナリオ評価の方法について検討を行うこととした。

2.1 係留施設が保持すべき性能と要求性能の変化

係留施設は、経済や物流を支える重要な施設であり、安全で円滑な荷役に資することが求められる。したがって、既存施設は補修を繰り返しながら継続して利用される可能性が高いといえる。つまり、設計供用期間中に老朽化や被災に対応する大規模補修や更新を行った場合、供用を停止せざるを得ず、社会的、経済的に多大な影響を及ぼすことが想定される。このような状態を避けるためには、適切な維持管理計画に基づいて戦略的に維持管理を行っていく必要がある。

係留施設本体とこれに関連する施設は、表-1に示す代表的な性能が要求水準を下回らないように設計、施工および維持管理する必要があると考えられる。しかしながら、表-2に示すように、係留施設に求められる機能が変化する場合には、既存施設の機能向上を図る必要がある。表-2に示した機能変化のうち、船舶の大型化、用地の確保など、施設の利用上で支障が生じるようなケ

表-1 各施設の維持すべき代表的な性能と具体的な内容⁴⁾

施設	維持すべき性能		
	安全性能	使用性能	耐久性能
栈橋 上部工	<ul style="list-style-type: none"> 船舶が着船できる。(着船時の水平力に対して抵抗性) 荷役ができる。(車輛やコンテナなどの静的・動的荷重に対する抵抗性) 	<ul style="list-style-type: none"> 荷役作業がスムーズにできる。(上部工に段差がなく、剛性低下による振動が少ない) 床版の抜落ち(走行制限が必要となる)がない。 	<ul style="list-style-type: none"> 予定供用期間において、塩害等が原因となって安全性能や使用性能が低下し、埠頭機能が停止しない。
栈橋 下部工	<ul style="list-style-type: none"> 船舶が着船できる。(着船時の水平力に対して抵抗性) 荷役ができる。(車輛やコンテナなどの静的・動的荷重に対する抵抗性) 	(直接要求されることはない)	<ul style="list-style-type: none"> 予定供用期間において、下部工の腐食量が許容値以下である。
鋼矢板 岸壁 ・護岸	<ul style="list-style-type: none"> 背後地からの土圧に耐え、荷役作業のヤードを確保する。(土圧に対する抵抗性) 	<ul style="list-style-type: none"> 矢板の変位、傾斜、法線の凹凸、土砂の流出などが少なく、荷役作業に支障がない。 	<ul style="list-style-type: none"> 予定供用期間において、鋼矢板の腐食による断面減少が許容値以下である。 予定供用期間において、矢板の変位、傾斜、法線の凹凸、土砂の流出が少ない。
ヤード	(直接要求されることはない)	<ul style="list-style-type: none"> 舗装面のひび割れや凹凸などがなく、荷役作業がスムーズにできる。 	<ul style="list-style-type: none"> 補修間隔が長く取れる程度の耐久性
付帯 施設	(直接要求されることはない)	<ul style="list-style-type: none"> 荷役作業のための付帯施設であり、荷役作業に支障が出てはならない。 	<ul style="list-style-type: none"> 取替え間隔が短くなりすぎない程度の耐久性
泊地	(直接要求されることはない)	<ul style="list-style-type: none"> 船舶の航行や着岸に支障のない水深の確保。 	(要求することが難しい)

ースについては、既存施設の改良等により対応できるものと考えられる。一方、耐震水準の向上については、国土交通省が進めている耐震強化岸壁の整備でも、目標の53%（2004年8月末現在）と十分には進捗していない状況にある。そこで本検討では、老朽化した係留施設の耐震水準を向上させた場合の地震対策への投資効果を定量的に評価し、既存施設を有効活用するためのライフサイクルシナリオ評価の方法について検討を行った。

一般に、港湾施設の設計供用期間は50年といわれるが、構造形式によっては構成材料の経年劣化によって、部材の終局耐力等の構造性能が低下することになる。経年劣化により構造性能が低下する構造形式においては、部材ごとの劣化予測結果に基づいて補修計画を策定する必要がある。

また、既存施設に要求される耐震水準が建設当初より高くなったり、設計地震動が大きくなった場合、地震対策を行わなければ、安全性や使用性を満足しないケースが大半であると考えられる。このような場合、既存施設の改良または更新により必要な耐震水準を満足するように地震対策を行うか、もしくは既存施設の性能が建設当初の状態を保持するように適切な維持管理を行い、高い地震被災リスクを抱えたまま利用し続けるか、といったいくつかのライフサイクルシナリオが検討される。いずれのシナリオがライフサイクルコスト等の観点から最適であるかは、個別の施設ごとに異なってくるものであり、普遍的な解は存在しない。このライフサイクルシナリオの設定と評価のための考え方についてとりまとめることが、本稿の目的である。

2.2 ライフサイクルコストの定義

一般に、ライフサイクルコストの正確な算定は難しいものとされている⁵⁾。しかし、最小期待損失規準に従うと、ライフサイクルコストの期待値が最小となるものを最適なライフサイクルシナリオ案として選ぶことができる。したがって、本検討においても同様の考えに基づき、ライフサイクルコストの期待値を式(1)に示すように定義した。なお、初期建設コストについては、本検討が既存施設のライフサイクルシナリオ評価に関するものであるため無視している。

$$LCC = \Sigma C_{inp} + \Sigma I_{repair} + \Sigma R + \Sigma C_T \quad (1)$$

ここに、 LCC ：ライフサイクルコストの期待値、 ΣC_{inp} ：改良または更新費用の合計、 ΣI_{repair} ：補修費用（補修材の更新費用を含む）の合計、 ΣR ：維持管理費用の合計、 ΣC_T ：復旧費用の期待値の合計（設計供用期間中に受け

表-2 係留施設に求められる機能の変化と変更すべき主な条件

係留施設に求められる機能の変化	機能向上に伴い変更すべき主な条件
船舶の大型化	設計水深（増深）
用地の確保	法線位置（前出し）
耐震水準の向上・液状化対策	設計地震動
取扱貨物、荷役形態の変化	分布荷重（増加） 活荷重（大型化） 荷役機械の利用

表-3 既存施設の耐震性向上に関する評価項目と検討手法

評価項目	検討手法
地震危険度	各港に発生するシナリオ地震を想定した検討。シナリオ地震は、震源断層を特定した地震（活断層に発生する地震、海溝型地震）および震源を特定しにくい地震を想定する。 ・ 基盤面の応答スペクトル→地盤増幅率（簡便法） ・ 基盤面の地震動（時刻歴）→SHAKEによる地盤増幅解析等（詳細法）
復旧費用	・ 構造形式別に破壊に至る限界震度を算定し、評価する。（簡便法） ・ 動的解析による変形照査により評価（詳細法）
液状化	・ 粒度、N値などから液状化の可能性を簡便に評価。（簡便法） ・ 動的解析による変形照査により液状化の評価（詳細法）
経済損失	改良、更新、補修工事および復旧工事による供用停止期間の係留施設使用料の損失、背後圏への経済的な損失等の間接的な費用について、 ・ 考慮する。 ・ 考慮しない。

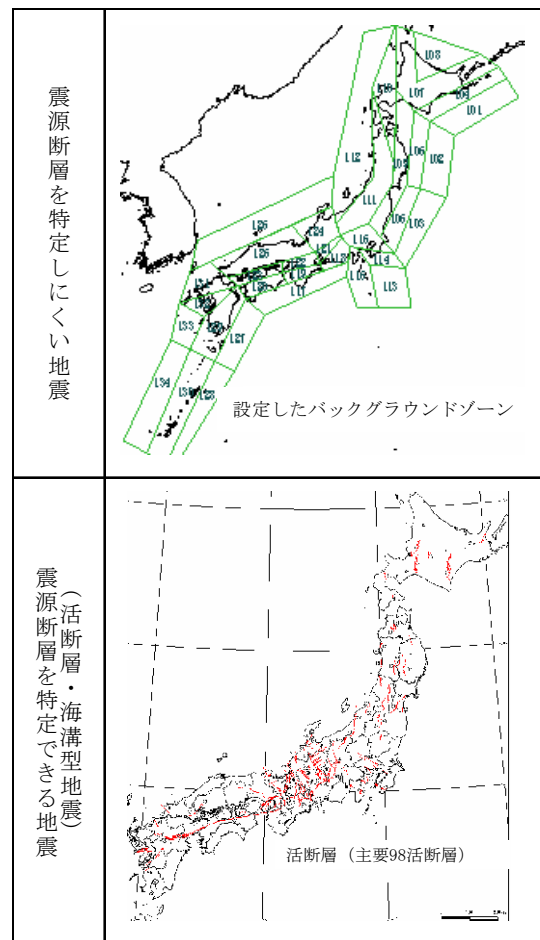


図-3 地震動モデル

ると考えられる地震被害に対する復旧費用の期待値) である。

2.3 耐震性能に関する評価項目と検討方法

既存施設の耐震水準を考慮したライフサイクルシナリオ評価にあたっては、表-3 に示す項目について検討を行う必要があると考えられる。ここで、表-3 に示した検討手法は、現時点で考えられるメニューの一例であり、簡便法と詳細法に区分している。また、これらの方法はあくまでも現時点で実施可能なものであり、港湾管理者等のニーズや関係分野における技術革新に応じて、随時柔軟に更新されるべきものである。

本稿は、既存施設のライフサイクルシナリオを耐震水準を考慮して評価するための方法について、その考え方や方針を示すことに重きを置いている。したがって、表-3 に示した検討手法のうち、簡便法として示した方法を採用することとした。その評価手順を 3. 以降に詳細に示す。

3. 地震危険度の評価方法

地震の発生確率および地震動は地域により異なるなど、港湾施設の地震に対する投資効果を評価する上で、適切に地震動を設定することは重要である。

本検討における地震動の評価は、確率論的ハザードマップ作成手法に準拠した⁶⁾。この手法は、図-3 に示す震源断層を予め特定しにくい地震と震源断層を特定できる地震(活断層、海溝型地震)をそれぞれ異なる考え方に基づいて考慮する地震危険度評価手法である。本検討における地震危険度評価の手順を図-4 に示す。

3.1 震源断層を特定しにくい地震

地震の発生位置、震源深さ、発生間隔およびマグニチュードなどを予め特定することが難しく、ランダムな位置および時刻に発生すると仮定される地震については、過去の地震記録をもとに地震の発生特性が類似していると考えられる地域をバックグラウンドゾーンとして設定し、地震危険度の評価を行った。本検討で設定したバックグラウンドゾーンは、文献 6) に示されたものを準用している。

バックグラウンドゾーン内における地震規模の確率分布については、上限値を有する Gutenberg-Richter の関係式に基づいて設定した。また、震源までの距離の確率分布については、地震対策を行う既存施設の設置地点(以下、検討地点と呼ぶ)と地震活動域のメッシュの幾何学

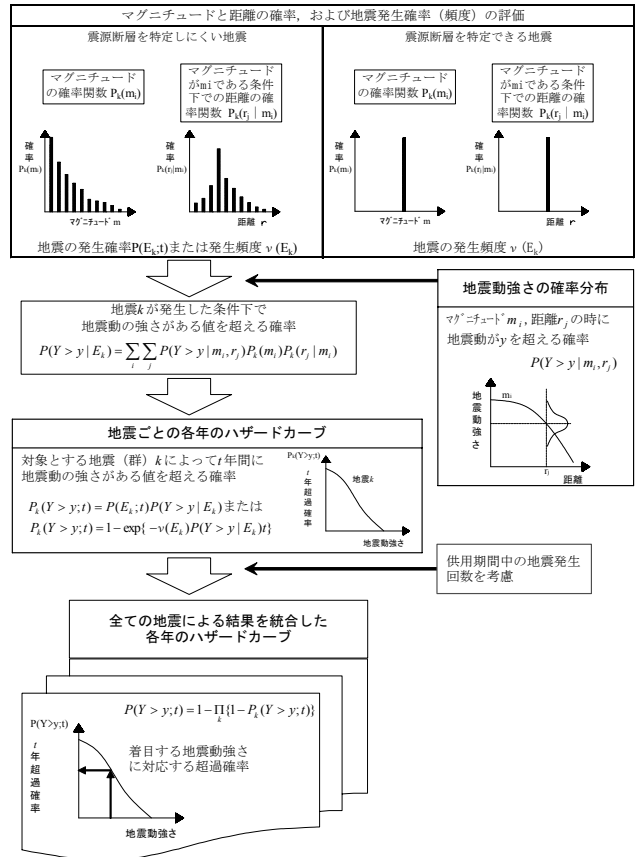


図-4 地震ハザードの評価

的な位置関係から算定した。地震の発生時系列は、定常ポアソン過程でモデル化した。

(1) バックグラウンドゾーン内で発生する地震

バックグラウンドゾーン*i*において、マグニチュード*M*が*m*を超える地震の年平均発生回数 $N_i [M > m]$ (回/年)は、以下のように算定した。このとき、震源深さ *h* (km) が $0 \leq h \leq 30$ の上層と $30 < h \leq 100$ の下層に分割して算定を行った。地震の年平均発生回数は、式(2)に示す Gutenberg-Richter 式に従うものとし、バックグラウンドゾーン*i*内で得られている地震記録を用いて、 a_i 値および b_i 値を算定した。

$$\log N_i [M > m] = a_i - b_i m \quad (2)$$

式(2)より、バックグラウンドゾーン*i*における地震のマグニチュード*M*の確率密度関数 $f_{M_i}(m)$ は、式(3)のように表される。

$$\hat{f}_{M_i}(m) = \frac{b_i \exp[-b_i(m - M_{iL})]}{1 - \exp[-b_i(M_{iU} - M_{iL})]} \quad (3)$$

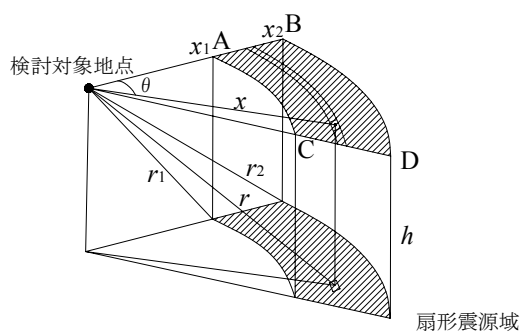


図-5 扇型震源モデル

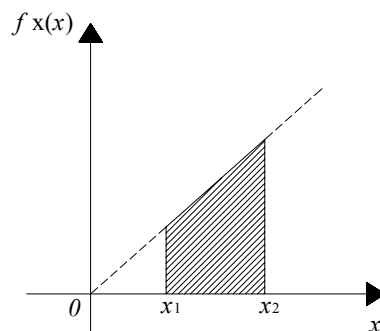


図-6 震央距離の確率密度関数

ここに、 M_{iL} :バックグラウンドゾーン*i*において考慮する最小のマグニチュード、 M_{iU} :バックグラウンドゾーン*i*において考慮する最大のマグニチュードである。

各バックグラウンドゾーンの上層および下層の最大マグニチュード M_{iU} 、最小マグニチュード M_{iL} および年平均地震発生回数と b 値を付表-1 に示す。

なお、本検討では、検討地点からの震央距離が 300km 以内に発生する地震を対象とした。

(2) 震源距離

震源断層を特定しにくい地震の震源距離の設定にあたっては、Cornell により示された、点震源が扇形の区域内にランダムに配置する扇形震源域モデルを考えた⁷⁾。震央は、図-5 に示す扇形の区域 ABCD 内のどこかに一様な確率で存在するものとした。また、震源深さ h は一定とした。

震央距離 X は確率変数であり、震央域内で一様に地震が発生するとすれば、震央距離の確率密度関数は、図-6 に示すように、扇形の全面積と幅 dx の弧の面積比で決定される直線分布になる。

$$f_X(x) = \frac{x}{(1/2)(x_2^2 - x_1^2)}, (x_1 \leq x \leq x_2) \quad (4)$$

震源距離 R の確率密度関数は、震源深さ h は一定であることから、震央距離 X の関係を考慮すると、式(5)のように表すことができる。

$$f_R(r) = \frac{r}{(1/2)(x_2^2 - x_1^2)}, (r_1 \leq r \leq r_2) \quad (5)$$

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + h^2}, r_2 = \sqrt{x_2^2 + h^2}$$

3.2 震源断層を特定できる地震

震源断層を特定できる地震としては、活断層に起因す

る地震および海溝型地震を取り上げ、このような地震のマグニチュード M は一定であると仮定した。

これらの地震の中で、最新の地震活動時期および活動間隔が明らかな地震については、更新過程あるいは時間予測モデルなどの非定常な地震活動を表すモデルを仮定し、地震発生確率の評価を行った。最新の地震活動時期が不明な地震については、非定常な地震活動モデルを適用できないため、定常ポアソン過程を仮定して評価を行った。

(1) 用いた活断層データ

本検討における地震危険度の評価には、地震調査研究推進本部により提示されている主要 98 活断層および主要 98 活断層以外の活断層 (178 活断層) の合計 276 の活断層モデルを用いた⁸⁾。これらの詳細については、付表-2 および付表-3 に示す。

(2) 用いた海溝型地震データ

本検討において地震危険度の評価に用いた海溝型地震は、地震調査研究推進本部⁸⁾や中央防災会議⁹⁾による検討結果および過去の地震記録を参考に選定した。用いた海溝型地震の詳細を付表-4 に示す。各パラメータの値については、文献 10) を参考に決定した。

(3) 震源距離

震源断層を特定できる地震の震源距離は、断層面から検討地点までの最短距離とした。断層面が不明な場合には、地表の断層線までの最短距離とした。

3.3 地震動特性値の推定

地震の規模 (マグニチュード) と震源までの距離の 2 つのパラメータと、距離減衰式を用いて検討地点における地震動特性値である最大加速度 a の評価を行った。最大加速度は、式(6)に示す距離減衰式¹¹⁾を用いて算出した。

$$\log_{10} A_{SMAC} = 0.53M - \log_{10}(X + 0.0062 \cdot 10^{0.53M}) - 0.00169X + 0.524 \quad (6)$$

ここに、 A_{SMAC} : SMAC 最大加速度(Gal), M : 気象庁マグニチュード, X : 断層面距離(km)である.

また, 検討地点において, 距離減衰式を用いて地震動の強さを評価する場合には, 距離減衰式の中央値 $Y(m_i, r_j)$ とそのバラツキを考慮して, 最大加速度の対数正規確率関数を設定することが一般的である. ここで, 距離減衰式のバラツキとして, 平均値回りの $\pm 2\sigma$ (σ : 最大加速度の自然対数の標準偏差) を考慮することとし⁶⁾, $\sigma = 0.55$ を用いた¹¹⁾.

$$P(Y > y | m_i, r_j) = 1 - F_U \left(\frac{y}{Y(m_i, r_j)} \right) \quad (7)$$

ここに, $F_U(u)$: u の累積分布関数である.

3.4 地震危険度の評価

活断層に起因する地震および海溝型地震のうち, 最新の地震の活動時期が既知のものについては, 更新過程あるいは時間予測モデルといった非定常な地震活動を表すモデル (Brounian Passage Time 分布 (以下, BPT 分布と呼ぶ)) に基づき地震危険度の評価を行った¹²⁾. 一方, 最新の地震活動時期が不明な地震および震源断層を特定できない地震については, 定常ポアソン過程にしたがうものと仮定して, 地震危険度を評価した.

検討地点において, 設計供用期間 t の間に複数回の地震発生を考慮する場合, それぞれの地震動の強さが互いに独立であると仮定すると, 地震動の強さ Y が t 年間に少なくとも 1 回だけ y を超過する確率 $P_k(Y > y; t)$ は, 式(8)および式(9)で表される. 式(8)は定常ポアソン過程, 式(9)は BPT 分布を表している.

$$P_k(Y > y; t) = 1 - \exp\{-\nu(E_k)P(Y > y | E_k)t\} \quad (8)$$

$$P_k(Y > y; t) = P(E_k; t)P(Y > y | E_k) \quad (9)$$

ここに, $\nu(E_k)$: 地震の発生頻度, $P(Y > y | E_k)$: 地震 k が 1 度発生した条件下で地震動の強さが y を超える条件付き確率 (式(10)), $P(Y > y | m_i, r_j)$: マグニチュード m_i , 距離 r_j の時に地震動の強さが y を超える確率, $P_k(m_i)$: 地震 k のマグニチュードが m_i の確率, $P_k(r_j | m_i)$: 地震 k においてマグニチュードが m_i である場合の距離の確率である.

$$P(Y > y | E_k) = \sum_i \sum_j P(Y > y | m_i, r_j) P_k(m_i) P_k(r_j | m_i) \quad (10)$$

また, BPT 分布により算定される現在から T 年間の地震発生確率は, 式(11)に示すとおりとなる.

$$P_k(T) = \frac{F_k(t_{0k} + T) - F_k(t_{0k})}{1 - F_k(t_{0k})} \quad (11)$$

$$F_k(t) = \int_0^t f_k(t') dt'$$

$$f_k(t) = \left(\frac{T_R}{2\pi\alpha^2 t^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left\{ -\frac{(t - T_R)^2}{2T_R\alpha^2 t} \right\}$$

ここに, $F_k(t)$: 最新の地震活動間隔が特定されている場合の活動間隔の確率分布関数であり, 活動間隔が BPT 分布で表されるものと仮定して設定した, $f_k(t)$: BPT 分布の確率密度関数, T_R : 活断層の平均活動間隔 (年), t_{0k} : 起震断層 k の最新活動時期から現在までの経過時間 (年), α : BPT 分布のバラツキ程度を与える指標である.

3.5 設計供用期間中における地震の発生回数

一般に, 設計供用期間が 50 年といわれる港湾施設では, その期間中に構造物が被災するような地震に遭遇することは十分にあり得るが, 地震被害に複数回遭遇することは非現実的であるとの考え方もある. したがって, 設計供用期間中に構造物が被災するような地震に遭遇する可能性は 1 回であると考え¹³⁾, 地震による被害は各年独立に発生し, 設計供用期間内で累積することとした.

3.6 結果の表現方法

本検討では, 地震危険度の評価結果を, 地震動の強さと設計供用期間中にその強さを超える確率の関係 (以下, ハザード曲線と呼ぶ) で示すこととした. ハザード曲線は, 実際には離散的に設定した地震動の強さごとに超過確率を算定し, x 軸を地震動の強さ (算術目盛), y 軸を超過確率 (対数目盛) としてプロットしたものを線形補間したものである.

また, 非定常なモデルを含むため, 各年ごとの地震動の強さの超過確率は異なる. 本検討では, 地震対策を行う時期や補修を行う時期を検討するため, 各年ごとのハザード曲線を用いる必要があるといえる. このように, 対象とする期間を固定した上で, 地震動の強さに対する超過確率を算定することは, ハザード曲線を用いることで容易に行うことができる.

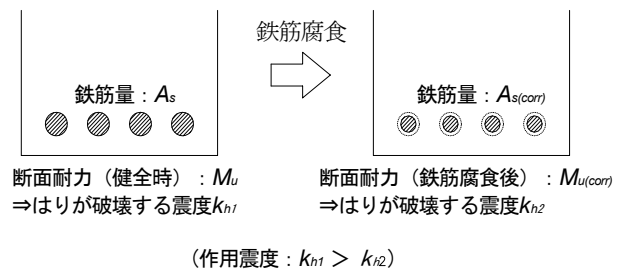
4. ライフサイクルシナリオの設定方法

老朽化した既存施設の耐震水準を向上させる対策として、既存施設の改良または更新を行うことが考えられる。しかし、必ずしも対策を施すことが最適ということではなく、例えば、利用頻度が低い施設、または重要度が低い施設などにおいては、建設当初の性能を保持するように適切な維持管理を行いながら施設を利用し続けるという選択も考えられる。ただし、この場合、大きな地震被災リスクを抱えることとなる。

ライフサイクルシナリオの設定にあたっては、既存施設の耐震水準を向上させる対策の必要性の有無、対策の種類等を十分に考慮しなければならない。この際、適切な維持管理を継続的に実施することも念頭に置いておく。また、既存施設の改良または更新を行う場合には、この時点ですでにだけ耐久性を確保できる材料・工法を用いるとともに、設計供用期間中に綿密なモニタリングを行う予防保全的な維持管理（維持管理区分 A）¹⁴⁾を考慮したライフサイクルシナリオについても設定することが望ましい。

しかし、長期間供用した港湾施設のすべてが劣化により耐久性を損なうというわけでは必ずしもないため、すべての施設に対して補修を計画する必要はない。過去の調査報告によると、供用開始から 70 年程度経過した鉄筋コンクリートケーソンが撤去され、詳細に調査された結果、鋼材腐食による劣化は全く確認されなかったとされている¹⁵⁾。これは、ケーソンが海中にあったため、鉄筋位置における塩化物イオン濃度は非常に高かったものの、鉄筋腐食の進行に必要な酸素の供給が少なかったためと考えられる。このように、直接海水に接する港湾施設は、多量の塩化物イオンの供給を受ける一方で、常に湿潤状態にあり、酸素の供給が制限されるため、鋼材の腐食が確認されない場合もある。これより、重力式係船岸に対する補修は必要に応じてライフサイクルシナリオに含めればよい。

しかしながら、栈橋式係船岸および矢板式係船岸においては、鉄筋コンクリート上部工は、塩害による劣化を受けやすい環境にあることに加えて、下部工である鋼管杭または鋼矢板は、厳しい腐食環境下にあるため、鋼材腐食による断面減少が発生することが一般に知られている。そこで、栈橋式係船岸および矢板式係船岸については、上部工、下部工ともに、安全性や使用性が損なわれる前に補修が行われるようなライフサイクルシナリオを設定しなければならない。



図一七 鉄筋腐食による終局耐力の低下

5. 期待復旧費用の算定方法

地震被害による係留施設の期待復旧費用は、過去の知見^{16),17),18)}に基づき、以下のように算定した。本稿では、栈橋式係船岸、重力式係船岸および矢板式係船岸を対象に算定のための考え方を示した。

5.1 栈橋式係船岸

栈橋式係船岸の復旧費用は、既往の研究成果¹⁶⁾を参考に、鉄筋腐食による終局耐力の低下を考慮した評価手法に基づいて算定した。すなわち、上部工は、設計時に考慮した地震動強さを超過した時点で被災し、下部工は、全ての杭の杭頭および地中部が塑性化するような規模の地震動が作用した時点で被災するものとし、必要な復旧を行うものと考えた。

地震動強さと被災を受ける範囲および復旧費用の詳細については、以下に示す。

(1) 鉄筋腐食を考慮した相対作用震度

上部工はりの鉄筋腐食による終局耐力の低下と設計外力の関係について検討するため、地震時の杭頭曲げモーメントを考える。

図一七に示すように、鉄筋腐食が生じていない健全時のはり（断面耐力： M_u ）が破壊する作用震度を k_{h1} 、鉄筋腐食が生じたはり（断面耐力： $M_{u(corr)}$ ）が破壊する作用震度を k_{h2} とすると、断面耐力の比は式(12)のように表すことができる。

$$M_u / M_{u(corr)} = k_{h1} / k_{h2} \quad (12)$$

これは、腐食により鉄筋断面が減少すると、健全時には破壊に至らない作用震度でも部材が破壊に至る可能性があることを示している。このことを、便宜上、鉄筋腐食時には健全時よりも見かけ上大きな震度が作用するものと考えて、「鉄筋腐食を考慮した相対作用震度」を式(13)のように定義した。

表-4 作用震度と被災（復旧）範囲

作用震度	被災（復旧）範囲	備考
$k_h(\text{corr}) \leq k_h(\text{verify})$	被災なし	
$k_h(\text{verify}) < k_h(\text{corr})$ $k_h \leq k_h(\text{limit})$	上部工	設計断面力を超過するため、はりが破壊すると仮定。
$k_h(\text{limit}) < k_h$	栈橋全体 (上部工, 下部工)	全ての杭が塑性すると仮定。

$$k_{h(\text{corr})} = \{M_u / M_{u(\text{corr})}\} k_h = \alpha_M k_h \quad (13)$$

ここに、 α_M ：断面耐力比（ $= M_u / M_{u(\text{corr})}$ ）である。

加藤らの研究成果¹⁹⁾によると、鉄筋コンクリートはりの鉄筋腐食後の断面耐力の低下は、式(14)に示すように、せん断補強筋の腐食状態によらず、主鉄筋の腐食状態のみを考慮すれば概ね評価可能であるとされている。

$$\begin{aligned} M_{u(\text{corr})} &= A_{s(\text{corr})} f_{y(\text{corr})} d \{1 - (0.60 p_{s(\text{corr})} f_{y(\text{corr})} / f'_c)\} \\ f_{y(\text{corr})} &= f_y (1 - 1.32 V_r) \\ p_{s(\text{corr})} &= A_{s(\text{corr})} / (bd) \end{aligned} \quad (14)$$

ここに、 $M_{u(\text{corr})}$ ：腐食した部材の曲げ破壊耐力(N・mm)， $A_{s(\text{corr})}$ ：腐食した鉄筋の断面積(mm²)， f_y ：健全な鉄筋の降伏強度(N/mm²)， $f_{y(\text{corr})}$ ：腐食した鉄筋の降伏強度(N/mm²)， V_r ：鉄筋の平均断面減少率(%)， d ：有効高さ(mm)， $p_{s(\text{corr})}$ ：腐食した場合の鉄筋比， b_w ：腹部幅(mm)， f'_c ：コンクリートの圧縮強度(N/mm²)である。

(2) 限界震度，照査震度および被災範囲の設定

栈橋式係船岸の耐震性能照査は、簡便法、弾塑性解析法あるいは非線形動的解析法のいずれかで行うこととされている²⁰⁾。簡便法による照査式は、栈橋式係船岸の保有耐力を簡便に精度良く評価できるが、本検討では、既存施設の改良や更新についても考慮するため、栈橋の弾塑性解析を行い、栈橋部の破壊形態について把握した。栈橋を構成するすべての杭の杭頭および地中部の仮想固定点において、作用曲げモーメントが全塑性モーメントに達すると、すべての杭が全塑性状態に達し、栈橋式係船岸は機能を喪失し、供用できなくなるものと仮定した。このときの作用震度を限界震度と定義した。

また、上部工はりの性能照査時に用いた作用震度を照査震度 ($k_{h(\text{verify})}$) と定義し、これよりも大きい作用震度が上部工はりに生じた場合に、上部工はりは破壊に至るものと仮定した。

本検討では、これらの作用震度 k_h 、鉄筋腐食を考慮した相対作用震度 $k_{h(\text{corr})}$ 、照査震度 $k_{h(\text{verify})}$ および限界震度 $k_{h(\text{limit})}$ の大小関係によって被災（復旧）範囲を3段階で判

定するものとし、栈橋式係船岸の被災（復旧）範囲を表-4のように定義した。

① 被災なし：照査震度 $k_{h(\text{verify})}$ 以下の作用震度が発生した場合は「被災なし」と判定し、復旧の必要はないものとする。このときに用いる作用震度は、上部工はりの補修時の劣化状態を考慮して「鉄筋腐食を考慮した相対作用震度 $k_{h(\text{corr})}$ 」とする。

② 上部工の復旧：照査震度 $k_{h(\text{verify})}$ より大きい「鉄筋腐食を考慮した相対作用震度 $k_{h(\text{corr})}$ 」が発生し、かつ、限界震度 $k_{h(\text{limit})}$ 以下の作用震度が発生した場合は「上部工はりが破壊する」と判定し、上部工のみを復旧するものとする。上部工はりが破壊に至った場合には、はりのみを造り替えることはできないため、はりとスラブを合わせて上部工全体を復旧するものとする。

③ 栈橋全体の復旧：限界震度 $k_{h(\text{limit})}$ より大きい作用震度が発生した場合は「杭頭部および地中部においてすべての杭が塑性化する」と判定し、栈橋全体を復旧するものとする。すべての杭が塑性化した場合、下部工のみを造り替えることはできないため、栈橋全体を復旧するものとする。このとき、限界震度は、杭頭部の腐食状態（防食材が劣化していないときは腐食なし）を考慮して設定するものとする。

(3) 復旧費用の算定

係留施設の供用期間中には、地震が複数回作用する可能性がある。したがって、地震の規模に応じた期待被災回数を考慮する必要がある。構造物が供用期間中に被災を受ける期待回数と期待復旧費を乗じた総和を期待復旧費用と定義し、式(15)により算出した。

$$C_T = \sum E_{nk} C_F \quad (15)$$

ここに、 C_T ：期待復旧費用(円/回)， E_{nk} ：対象とする作用震度の地震が設計供用期間中に発生する期待回数(回)， C_F ：対象とする作用震度が発生した時に必要となる復旧費用(円)である。

ここで、期待被災回数については、照査震度以上の鉄筋腐食を考慮した相対作用震度が発生した場合には「被

災する」と定義しているため、破壊確率 p_f は 1 または 0 になると考え、式(16)のように表すこととした。

$$\sum_{i=k}^n E_{ni} = p_f \nu N_1 = \nu N_1$$

$$E_{nk} = \sum_{i=k}^n E_{ni} - \sum_{i=k+1}^n E_{ni} \quad (16)$$

ここに、 $\sum_{i=k}^n E_{ni}$: 対象とする作用震度より大きい地震が N_1 年間に発生する期待回数(回)、 ν : 対象とする作用震度以上の地震の年発生確率 (= $1/T_R$)、 T_R : 対象とする作用震度以上の地震の再現期間(年)、 N_1 : 設計供用期間(年)、 E_{nk} : 対象とする作用震度の地震が N_1 年間に発生する期待回数(回)である。

式(17)は、野田ら²¹⁾が重力式係船岸の地震による過去の被災事例を分析して、地盤最大加速度と作用震度の上限値の関係式として提案した式である。

$$k_h = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\alpha \geq 200 \text{ Gal})$$

$$k_h = \left(\frac{\alpha}{g} \right) \quad (\alpha < 200 \text{ Gal}) \quad (17)$$

ここに、 k_h : 水平震度、 α : 地表面における地盤の最大加速度(Gal)、 g : 重力加速度(Gal)である。

一般に、震度法を適用する場合の耐震強化施設の震度の設定は、レベル2地震動の動的解析結果を用いて、式(17)より算定される水平震度などに基づいて総合的に判断して設定されるものである²²⁾。本検討では、耐震水準の向上について検討しているため、耐震強化施設に対する設計と同様に考え、式(17)により地震動強さを評価することとした。

既往の報告²³⁾で用いられた工学的基盤は、具体的には沖積層の下の岩盤あるいは N 値が 50 以上の洪積層とされている。そこで本検討では、工学的基盤に対して算定された加速度(基盤加速度)は、震度法における地盤種別の第一種地盤に相当するものと考えた。したがって、第一種地盤以外の地点について検討を行う場合には、この基盤加速度をそのまま適用することはできない。そこで、検討地点における地盤条件を考慮した地盤種別係数と第一種地盤の地盤種別係数の比を考慮することで、地盤条件を考慮した基盤加速度を算定できるものと考えた。

5.2 重力式係船岸

重力式係船岸の復旧費用の算定は、過去の地震被災量

表-5 被災変形量と危険度の回帰分析結果(重力式)

目的変数	説明変数 (F_c) : 危険度 (K_c/K_e)		
	回帰式	相関係数	標準偏差
最大はらみだし量(D_x , cm)	$D_x = -113.8 + 124.4F_c$	0.559	59.1
天端沈下量(S_p , cm)	$S_p = -50.9 + 57.1F_c$	0.677	20.0
被災変形率(R_G , %)	$R_G = -12.7 + 14.5F_c$	0.455	9.1
加算変位(D_a , cm)	$D_a = -127.5 + 148.5F_c$	0.540	73.2

表-6 被災額率と被災変形量の回帰分析結果(重力式)

目的変数	目的変数 (C_F) : 被災額率 (%)		
	回帰式	相関係数	標準偏差
最大はらみだし量(D_x , cm)	$C_F = -7.16 + 0.954D_x$	0.788	30.6
	$C_F = 5.20 + 0.008D_x^2$	0.870	24.5
平均はらみだし量(D_m , cm)	$C_F = -14.52 + 1.619D_m$	0.835	23.4
天端沈下量(S_p , cm)	$C_F = 7.85 + 1.419S_p$	0.827	32.5
被災変形率(R_G , %)	$C_F = -4.23 + 4.563D_x$	0.875	24.4
加算変位(D_a , cm)	$C_F = -8.60 + 0.542D_a$	0.787	28.1

と地震時安定性の関係を統計分析した結果を用いて行った。

(1) 被災額率と被災変形量の関係

上部¹⁷⁾は、過去の地震被災量と地震時安定性の関係を統計分析し、作用震度 (k_e) と設計震度 (k_c) の比を危険度 (F_c) と定義した上で、被災変形量と危険度の関係、被災額率と被災変形量の関係を取りまとめている。その結果を表-5および表-6に示す。これより、被災変形量の目的変数を被災変形率としたケースの回帰式が最も相関が高かった。ここで、被災変形率とは、(はらみだし量/構造物高さ)である。なお、ここで収集された過去の地震被災量の統計分析結果には、液状化した場合の被災事例は含まれていない。

地震被害による復旧費用と被災額率の関係を式(18)に示す。

$$C_F = I \cdot C_f \quad (18)$$

ここに、 C_F : 復旧費用(円)、 I : 初期建設費(円)、 C_f : 被災額率である。

また、期待被災額率 $P_{cf}(k)$ は、被災額率 C_f とその被災をもたらし地震が発生する確率 $p_f(k)$ の積として定義され、式(19)のように表すことができる。

$$P_{cf}(k) = p_f(k) \cdot C_f \quad (19)$$

(2) 液状化判定と復旧費用の算定

(1)において、重力式係船岸の期待復旧費用は、被災をもたらし地震の発生確率、被災額率および初期建設費用を用いて、簡便に算定できることを示した。しかしながら、被災額率を定めるための被災事例の統計分析には液状化した事例は含まれていない。

兵庫県南部地震において液状化による重力式係船岸の

被災事例が数多く報告されているが、液状化しない場合と比較すると被害の規模が甚大であり、多額の復旧費用が発生したと報告されている。そのため、液状化を想定した場合の復旧費用の算定方法についてもあらかじめ検討しておく必要があるといえる。ここで、重力式係船岸の過去の被災事例では部材の破壊による被災が少ないため、主として係船岸全体の安定性を照査することが多い。

長尾ら²⁴⁾は、兵庫県南部地震での被災事例の考察において、背後地盤が液状化した場合の重力式係船岸の安定性について報告している。その結果によると、液状化の影響を受けたと推定される施設の地震時安定性と被災量の関係では、液状化を想定したときの滑動安全率と最大はらみだし量、ならびに、危険度と最大はらみだし量の間と比較的高い相関があり、最終的に滑動安全率と被災変形量の回帰式を提案している。

上部ら²⁵⁾は、兵庫県南部地震での被災事例の考察において、ケーソン式大型岸壁の被災分析を行っている。その結果によると、被災変形量と前面水深の間に明瞭な相関は認められなかったが、最大はらみだし量、天端沈下量、被災変形率といった被災変形量を置換砂の層厚で除した値と危険度の間には明瞭な相関関係が認められた。また、兵庫県南部地震の地震動が大きい被災変形量を与えるタイプの地震波形であったこと、ならびに、液状化の発生により被害が増幅されたことから、過去の被災事例と比べると、同じ危険度に対する変形量はより大きくなったと指摘されている。

以上より、背後地盤が液状化した場合と現地盤（置換砂）が液状化した場合のそれぞれの復旧費用の算定を図-8および図-9に示す手順で行うこととした。ただし、本検討で示す方法に使用したデータは、限られた少ないサンプルデータを統計分析した結果を用いているため、適用条件などに十分配慮する必要があることに注意が必要である。

a) 背後地盤の液状化を考慮した復旧費用の算定

背後地盤の液状化の判定は、「埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）²⁶⁾」における簡易判定手法に準拠して行った。液状化の予測・判定の対象とする土層は、地表面（海面下では海底面）から深さ20m以浅とした。ただし、20m以深でもその層で液状化が発生した場合に構造物に重大な損傷が生じると判断される場合や、明らかに上部の土層と連続する層であると判断される場合には、これらの層も含めて液状化の予測・判定を行うこととした。

粒度による液状化判定を行った結果、液状化の可能性があると判定された場合には、図-10および表-7に基

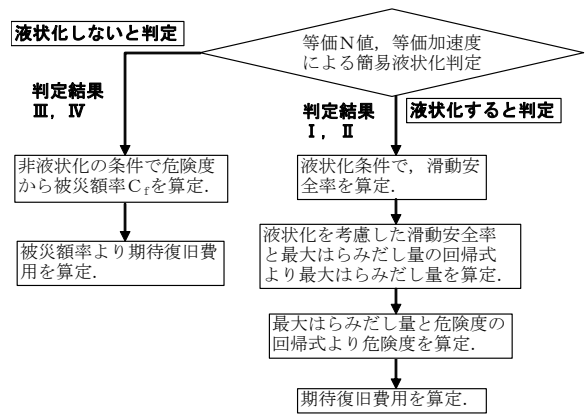


図-8 背後地盤の液状化を考慮した復旧費用の算定

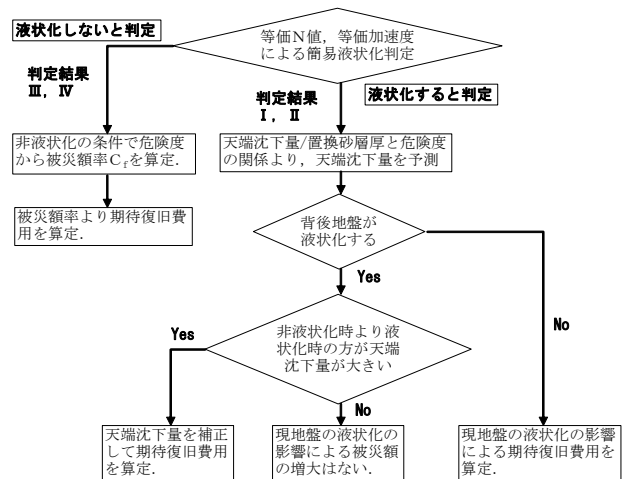


図-9 現地盤の液状化を考慮した復旧費用の算定

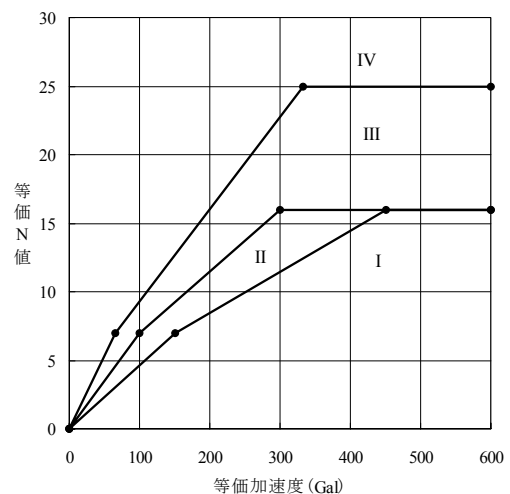


図-10 等価N値と等価加速度による土層の区分

表-7 粒度とN値による土層ごとの液状化の予測・判定

図-10 に示す範囲	粒度とN値による液状化の予測	粒度とN値による液状化の判定
I	液状化する.	液状化すると判定する.
II	液状化する可能性が大きい.	液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する.
III	液状化しない可能性が大きい.	液状化しないと判定するか、繰返し三軸試験により判定する. 構造物に特に安全を見込む場合には液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する.
IV	液状化しない.	液状化しないと判定する.

づいて、等価N値と等価加速度による液状化判定を行う。本検討では、判定結果がIまたはIIと判定された場合は「液状化する」、IIIまたはIVと判定された場合は「液状化しない」と評価し、期待復旧費用を算定することとした。

液状化すると判定された場合には、長尾ら²⁴⁾が兵庫県南部地震の被害考察を行った結果を参考とした。これによれば、被災変形量と滑動安全率の関係に対する回帰式として、式(20)が提案されている。

$$F_s = -0.054h_{max} + 0.69 \quad (\text{相関係数} : -0.39) \quad (20)$$

$$F_c = 0.183h_{max} + 1.214 \quad (\text{相関係数} : 0.3)$$

ここに、 F_s : (液状化条件での) 滑動安全率、 h_{max} : 最大はらみだし量(m)、 F_c : 危険度 ($=k_e/k_c$) である。

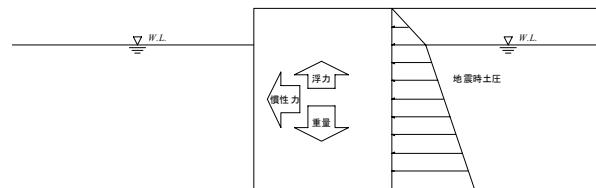
図-11に、液状化時と非液状化時における震度法に基づく解析モデルを示す。同図から明らかなように、液状化する場合に堤体に作用する外力は、慣性力のほかに、残留水位より上側には地震時土圧が、残留水位より下側の液状化層からは飽和土の単位体積質量を持つ泥水の静的水圧および動水圧が作用するものと考えた。液状化時には、式(20)により算定した危険度を表-6の被災額率算定式に代入し、背後地盤が液状化した影響を考慮した復旧費用を算定するものとした。

b) 現地盤の液状化を考慮した復旧費用の算定

現地盤の液状化の判定は、背後地盤の液状化判定と同様の手法で行い、判定結果がIまたはIIと判定された場合を「液状化する」と判定した。

液状化すると判定された場合には、上部ら²⁵⁾による兵庫県南部地震の被害考察を参考として、被災変形量を置換砂の層厚で除した値と危険度の回帰式を用いて、被災変形量の評価を行った。用いた回帰式を表-8に示す。これより、危険度と最も相関が高かった目的変数である最大はらみだし量を置換砂の層厚で除した値の回帰式を用いて、液状化時における被災変形量としての最大はら

<非液状化時>



<液状化時>

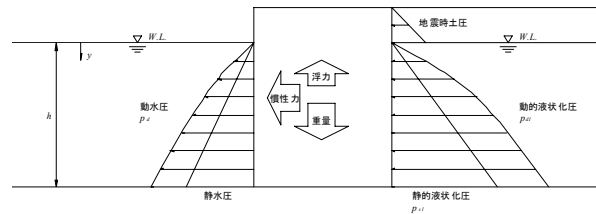


図-11 震度法解析モデル

表-8 被災変形量、置換砂層厚と危険度の回帰分析結果

目的変数	回帰式	説明変数 (F_c) : 危険度 (K_e/K_c)	
		相関係数	標準偏差
最大はらみだし量/置換砂層厚 (D_x/H , %)	$D_x/H = 15.126F_c$	0.670	3.54
天端沈下量/置換砂層厚 (S_p/H , %)	$S_p/H = 5.638F_c - 0.023$	0.584	9.10
被災変形率/置換砂層厚 (R_G/H , %)	$R_G/H = 0.995F_c$	0.554	0.58

みだし量の推定を行った。

この際、背後地盤が液状化しない場合には、現地盤の液状化を考慮した被災変形量により期待復旧費用を算定することとした。背後地盤が液状化する場合には、非液状化時の最大はらみだし量を算定し、液状化時における最大はらみだし量との比較を行った。比較の結果、非液状化時における最大はらみだし量が大きい場合には、現地盤の液状化による復旧費用の増大はないものと考えた。また、液状化時の方が大きい場合には、現地盤の液状化

の影響を考慮した期待復旧費用を算定した。

c) 重力式係船岸の復旧費用

a)およびb)において、被災変形量と危険度の関係から背後地盤および現地盤の液状化の影響を考慮した期待復旧費用の算定方法を示した。しかしながら、それぞれの検討結果には、背後地盤と現地盤の両方が液状化したケースも含まれているものと考えられる。したがって、重力式係船岸の期待復旧費用は、背後地盤または現地盤の液状化の影響を考慮した期待復旧費用の算定結果の大きい方を採用することとした。

5.3 矢板式係船岸

矢板式係船岸の復旧費用は、上部が過去の地震被災量と地震時安定性の関係を統計分析した結果¹⁸⁾を用いて算定した。この統計分析では、重力式係船岸と同様に、被災変形量と危険度の関係および被災変形量と被災額の関係について回帰分析を行っている。回帰分析の結果を表-9および表-10に示す。ここで示された過去の地震被災量の統計分析結果には、液状化した場合の被災事例は含まれていない。

5.2 で示したように、重力式係船岸の地震被害による復旧費用は、初期建設費に対する比率として定義される被災額率を用いて算定した。しかしながら、矢板式係船岸に対する統計分析結果では、復旧費用＝被災額として整理されている。表-9および表-10に示した回帰式は、20年以上前の統計分析で得られたものであることから、貨幣価値の違いを適切な方法で考慮する必要がある。

また、矢板式係船岸の場合、地盤の挙動が矢板の安定性に大きく影響を及ぼし、アンカーの変位、矢板の降伏、矢板根入れ部の降伏、タイ材の降伏、アンカーの降伏などのイベントが生じるものと考えられる²⁷⁾。このことを考慮すると、矢板式係船岸で液状化する可能性があることと判定された場合、簡易な手法で被災程度を推測するのは困難であると考えられる。したがって、液状化する可能性があることと判定された場合には、動的解析等により矢板式係船岸の変形照査を行い、被災程度を評価することが望ましいと考えられる。

6. 社会的損失の考慮方法

既存係留施設のライフサイクルコストを算定する場合、地震対策の投資費用、補修費用、維持管理費用、地震被害による復旧費用だけでなく、地震対策工事期間中の係留施設の供用停止に伴う経済損失についても考慮する必要があるといえる。取扱い貨物量が多く、利用頻度が高

表-9 被災変形量と危険度の回帰分析結果（矢板式）

目的変数	回帰式	説明変数 (F_c) : 危険度 (K_e/K_c)	
		相関係数	標準偏差
最大はらみだし量(D_x , cm)	$D_x = -1.6 + 34.9F_c$	0.679	26.7
平均はらみだし量(D_m , cm)	$D_m = -15.9 + 9.5F_c$	0.534	16.9
エプロン沈下量(S_e , cm)	$S_e = 5.3 + 14.7F_c$	0.398	19.9
はらみだし量/構造物高(R_G , %)	$R_G = -1.5 + 5.8F_c$	0.653	4.8
加算変位(D_a , cm)	$D_a = -2.0 + 44.0F_c$	0.664	33.0

表-10 被災額率被災変形量の回帰分析結果（矢板式）

目的変数	回帰式	目的変数 (C_F) : 被災額 (千円/m)	
		相関係数	標準偏差
最大はらみだし量(D_x , cm)	$C_F = -128.4 + 6.97D_x$	0.823	88.5
エプロン沈下量(S_e , cm)	$C_F = -14.4 + 4.43S_e$	0.629	77.6
はらみだし量/構造物高(R_G , %)	$C_F = -29.2 + 30.82D_x$	0.705	110.4
加算変位(D_a , cm)	$C_F = -109.7 + 5.26D_a$	0.803	85.5

い係留施設の場合、地震対策工事にかかる直接費よりも経済損失等の社会的損失の方が大きくなる可能性もある。

したがって、最適なライフサイクルシナリオを選定する上で社会的損失の評価方法を確立しておくことは極めて重要である。しかしながら、現在までに社会的損失を適切に考慮できる方法は確立されていない。これは、社会的損失を計上する空間的な範囲、代替施設の有無、供用停止期間の長さ、取扱い貨物の種類および将来の貨物量の予測などの様々な条件設定が困難であるためであり、評価方法の確立のためにはまだ長い時間を要すると考えられる。

以上より、社会的損失の考慮の有無は、ライフサイクルシナリオの評価結果を大きく左右するものと考えられるが、本検討では考慮しないものとした。

なお、過去に係留施設の社会的損失を検討した事例としては、コンテナ貨物の輸送に伴う損失の評価方法に関するものがあり²⁸⁾、今後、社会的損失の定量的な評価方法を確立する上で参考となるものと思われる。

7. 既存施設のライフサイクルシナリオ評価のための試算

7.1 検討対象施設と検討条件

ここまで、既存施設の機能向上を考慮したライフサイクルシナリオ評価の考え方について述べてきたが、ここでは試算を通じて、その具体的な方法を示す。

試算の対象とした係留施設は、O港において1985年に建設された栈橋式係船岸である。検討対象施設の標準断面を図-12に示す。ここでは、前面の栈橋部と背後の重力式土留め護岸に対して、ライフサイクルシナリオの設定とその評価を試みた。この栈橋式係船岸では、建設当初から鋼管杭の防食（重防食＋電気防食50年）が施

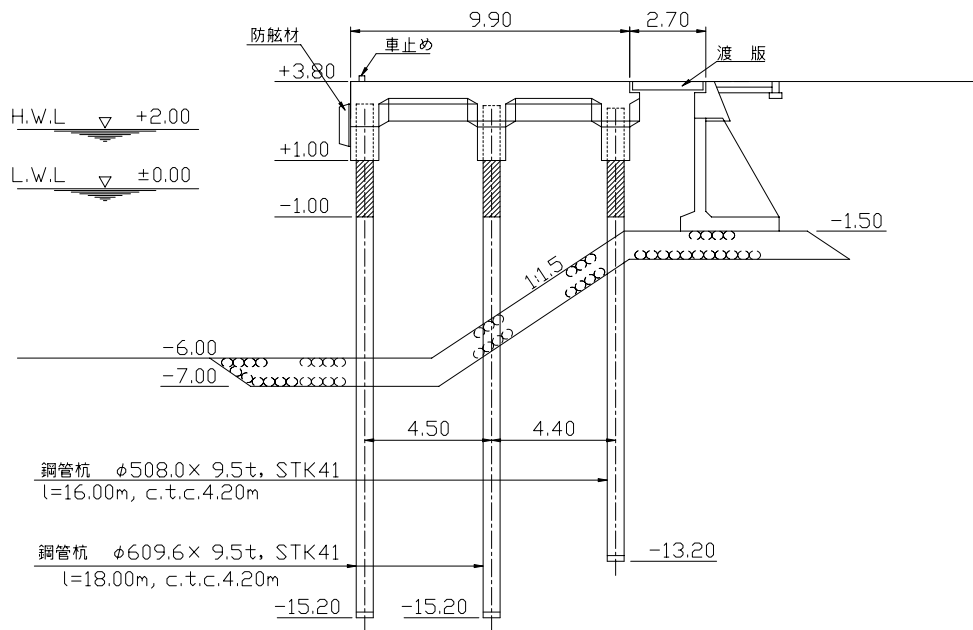


図-12 検討対象とした栈橋式係船岸の標準断面

されている。また、これまでに上部工および下部工ともに補修や改良が施された履歴はない。

2003年に栈橋式係船岸の劣化状態の把握と補修設計を目的として、上部工コンクリートの劣化調査と鋼管杭の腐食調査が実施されている。ライフサイクルシナリオ評価にあたって実施する劣化予測には、これらの調査結果を使用した。表-11に、劣化予測に関わる入力条件を示す。4.でも述べたように、重力式係船岸では老朽化による劣化は発生しないものと考えているため、重力式土留め護岸のライフサイクルシナリオの設定にあたって補修は考慮しないものとした。

また、建設当初は、設計震度 $k_h=0.10$ で設計されていたが、取扱い貨物量の増加に伴い施設の重要度が大きくなったことや地域別震度の見直しがあったことなどを考慮して、現在要求されている耐震水準は、設計震度 $k_h=0.18$ に引き上げられていると仮定して計算を行った。

以下に、本検討で行ったライフサイクルシナリオ評価のための前提条件を示す。

- ・ライフサイクルシナリオ評価の指標として、ライフサイクルコストを取り上げ、これが最小となるシナリオが最適であると判断する。
- ・ライフサイクルコストの算定範囲は、栈橋部と土留め護岸とする。
- ・検討地点からの震央距離が300km以内に発生する地震を対象とする⁶⁾。

表-11 劣化予測に用いた入力条件（栈橋部）

検討項目		入力条件
表面塩化物イオン量	スラブ	15.97 kg/m ³
	はり	21.86 kg/m ³
塩化物イオン拡散係数	スラブ	2.67×10 ⁻⁸ cm ² /s
	はり	3.11×10 ⁻⁸ cm ² /s
劣化度判定結果	スラブ	劣化度 III
	はり	劣化度 III
鉄筋径、かぶり	スラブ	D13, 70 mm
	はり	D22, 90 mm
鋼管杭の腐食速度（無防食状態に換算）		0.06 mm/年
鋼管杭の許容腐食量		1.0mm (=0.2mm/年×50年×0.1)
今後の設計供用期間		50年 (検討時期：2006年)

- ・栈橋上部工はりの終局耐力が建設当初の80%となった時点を使用限界状態、60%となった時点を終局限界状態と仮定し、遅くとも終局限界状態に至るまでには補修を行う¹⁶⁾。
- ・栈橋上部工スラブについては、設計時点で地震荷重を考慮していないため、劣化状態と地震被災リスクの関連はないものとする。
- ・栈橋部の下部工に対する補修については、被覆防食範囲では防食材の耐用年数で防食材を更新し、海中部では建設当初に想定した電気防食陽極の耐用年数経過時に陽極の取替えを行う。
- ・改良、更新および期待復旧費用の算定にあたっては、

表-12 ライフサイクルシナリオの設定

対象構造	設定したライフサイクルシナリオ	
栈橋部	A-1	既設栈橋の保有性能を保持できるように適切に維持管理し、必要であれば補修を繰り返し行いながら、利用し続ける（耐震水準は向上しない）。
	A-2	現状で要求されているレベルまで耐震水準を向上させるため、既設の上部工を撤去し、ジャケット式に改良する。
	A-3	既設栈橋全体を撤去し、現状で要求されているレベルの耐震水準を有する栈橋を新たに建設（更新）する。
護岸部	B-1	既設護岸をそのまま利用する。
	B-2	現状で要求されているレベルまで耐震水準を向上させるため、背後地盤の一部を軽量土で置換する。

撤去と廃棄にかかるコストとして初期建設費の5割を計上する。

- ・地震対策工事（改良または更新）、補修工事または復旧工事による係留施設の供用停止にともなう係留施設利用費の損失や背後地への経済的損失などの間接的な社会的損失は考慮しない。
- ・栈橋部の改良または更新を行う場合には、予防保全的な維持管理を行なうこととし、改良または更新後には著しい劣化の進行はないものとする。
- ・栈橋部の耐震性能評価にあたっては、プッシュオーバー解析により構造体の破壊過程の検討を行い、すべての杭の杭頭部および地中部に塑性ヒンジが発生する時点限界震度とする。
- ・上部工のジャケット化による改良を行うケースでは、すべての杭の継杭部で塑性ヒンジが発生する時点で上部工の復旧を行うこととする。
- ・ライフサイクルコストを構成する補修費用、改良費用、更新費用、維持管理費用、期待復旧費用の算定結果は、栈橋部と土留め護岸の初期建設費の合計額を1.0としたコスト比率で表す。
- ・社会的割引率については、その設定方法が確立されていないことから、本検討では考慮しない。よって、ここで算出されるライフサイクルコストはすべてライフサイクルシナリオ検討時点における現在価値である。

7.2 ライフサイクルシナリオの設定

表-12 に、栈橋部と護岸部のそれぞれに対して設定したライフサイクルシナリオを示す。既存施設全体に対するライフサイクルシナリオとしては、栈橋部のシナリオと護岸部のシナリオを組み合わせることで設定した。

まず、栈橋部に対して設定したライフサイクルシナリ

オについて以下に概説する。現地調査結果より、栈橋上部工の劣化度はⅢであった。塩害を受けたコンクリート部材の劣化度Ⅲの状態は、コンクリート表面に腐食ひび割れが発生した状態で、かぶりコンクリートの剥離・剥落はほとんど見られない。したがって、この時点における終局耐力は建設当初からほとんど低下していないと考えられるため、現状の性能を保持できるように適切な維持管理や補修を行えば、通常の利用には支障をきたさないものとする。これを栈橋部に対するライフサイクルシナリオ A-1 とする。ただし、この場合、耐震水準は向上していないので、改良または更新を行った場合と比較すると地震被災リスクが高い、すなわち、期待復旧費用が多くなることは免れない。

栈橋部に対するライフサイクルシナリオ A-2 では、既設の上部工を撤去し、ジャケット式に改良している。この際、下部工の鋼管杭は既存のものをそのまま利用することとしている。これにより、設計震度 k_h は 0.10 から 0.18 に上がり、耐震水準が向上している。同じく A-3 では、既設栈橋全体を撤去し、新たに栈橋を建設（更新）している。新たに建設する栈橋は設計震度 $k_h=0.10$ で設計するため、既存のものより耐震水準は向上している。

次に、護岸部に対するライフサイクルシナリオについてみると、B-1 では、既設の土留め護岸をそのまま利用し続ける場合である。前述したとおり、重力式の構造物では材料劣化は生じないと仮定したため、ライフサイクルシナリオの設定にあたって補修は考慮しなかった。ライフサイクルシナリオ B-2 では、土留め護岸本体はそのまま利用し続けるが、背後地盤の一部を軽量土で置換している。これにより、現状で要求されているレベルまで耐震水準を向上させることができる。背後地盤の改良範囲は、堤体の後趾から地震時主働崩壊線を引き、その線

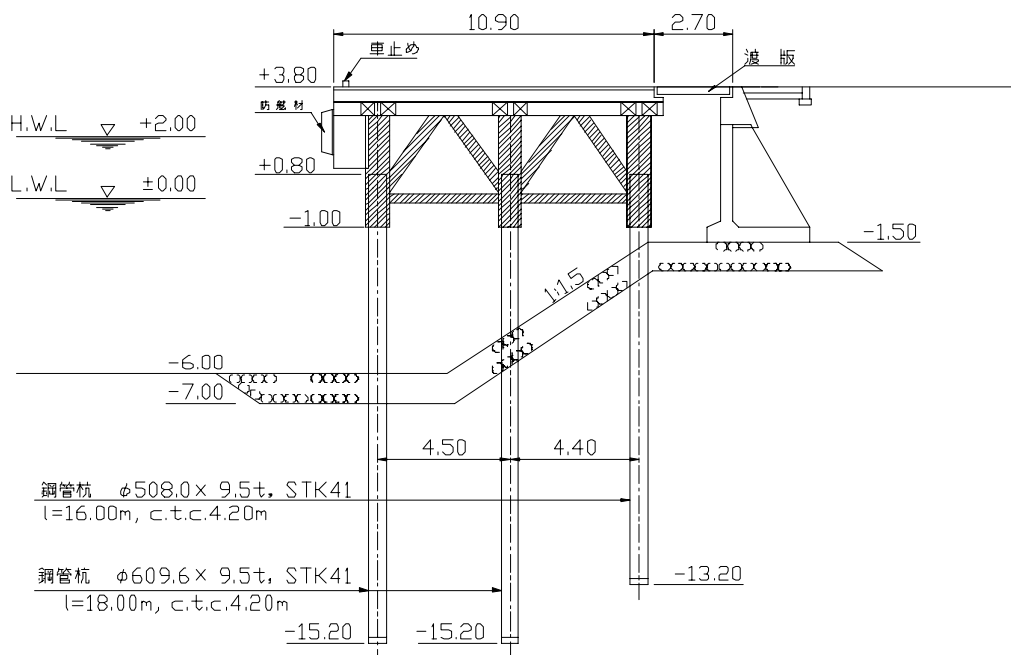


図-13 検討断面（栈橋部：A-2，護岸部：B-1）

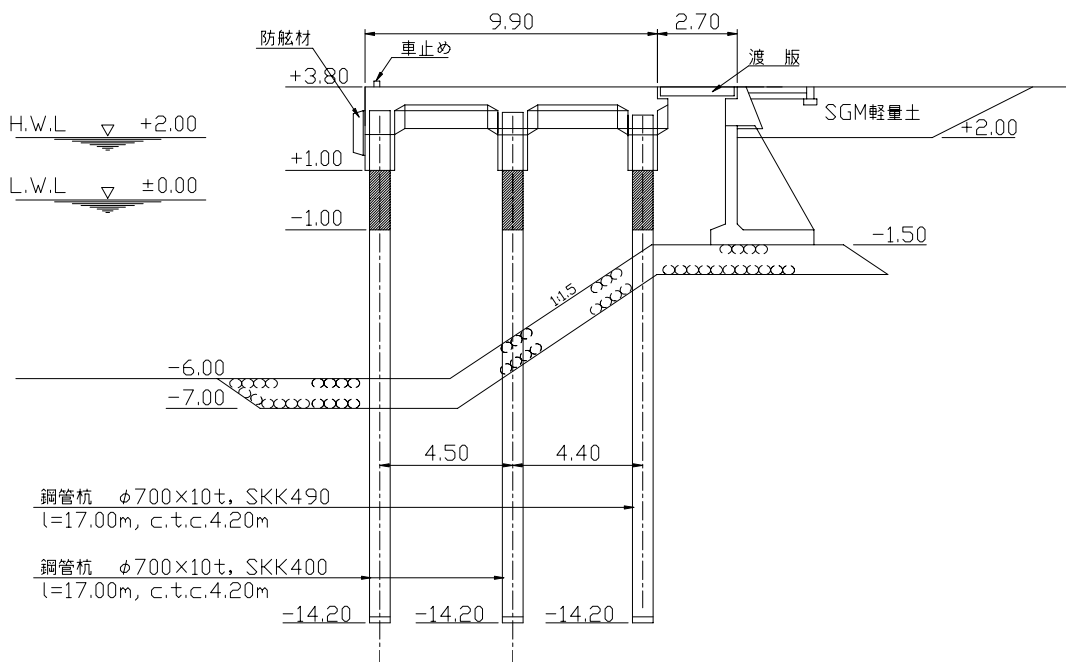


図-14 検討断面（栈橋部：A-3，護岸部：B-2）

が現地盤と交わる範囲の外側となるように設定した。

図-13および図-14に、代表的なライフサイクルシナリオに対する検討断面を示す。図-13は、栈橋部にはA-2のシナリオを、護岸部にはB-1のシナリオを設定したケースであり、図-14は、栈橋部にはA-3のシナリオ

を、護岸部にはB-2のシナリオを設定したケースである。

ここでの試算は、ライフサイクルシナリオ評価の方法を説明することに主眼を置いているため、ジャケット式による栈橋の改良や栈橋の更新にあたって、杭断面や上部工断面の最適化は行わなかった。そのため、図-13

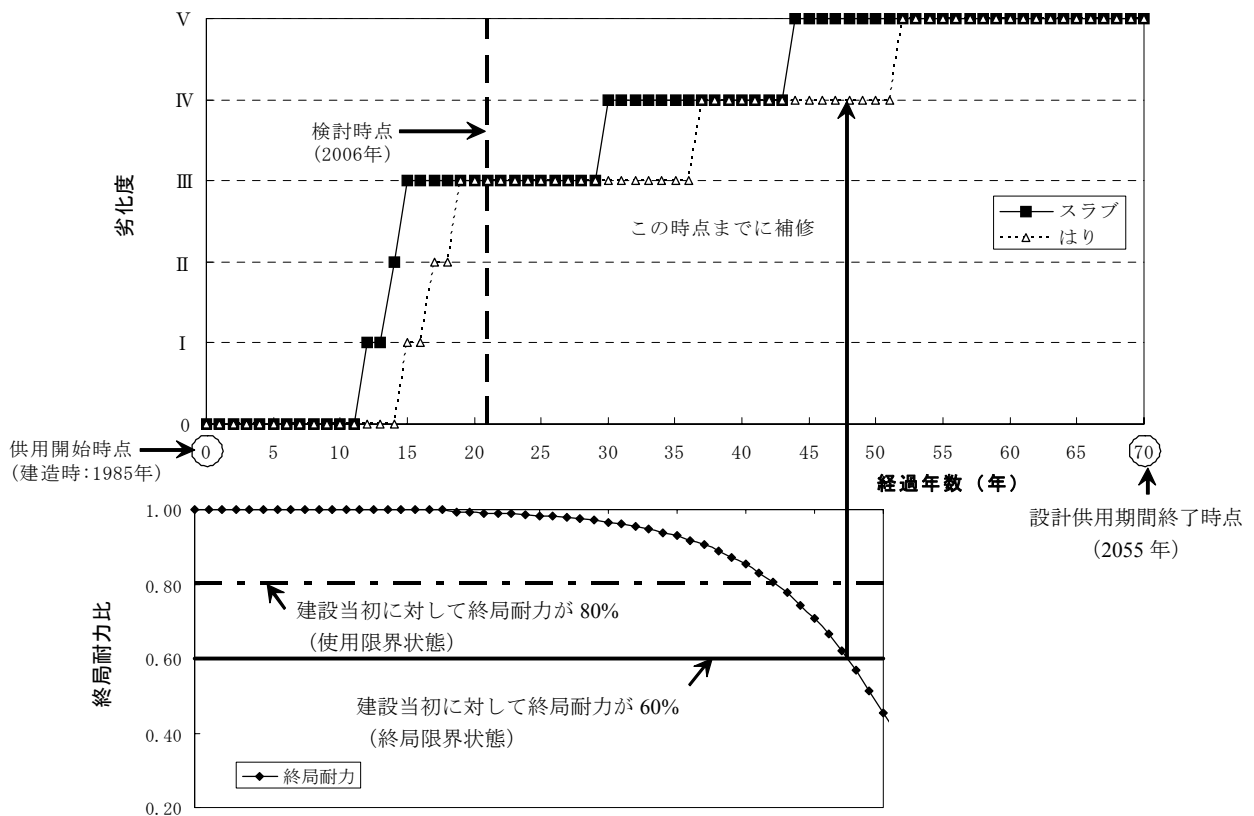


図-15 栈橋上部工の劣化度の推移と終局耐力の経年変化

や図-14 に示した構造や部材断面が必ずしも最も経済的であるとは限らない。実際には、各々の最適断面を設計段階で検討し、ライフサイクルシナリオの評価を行う必要があることは言うまでもない。

7.3 地震危険度の評価

地震危険度の評価は、7.1 の前提条件で述べたとおり、検討地点から半径 300km の範囲に震央が含まれる地震を対象とし、設計供用期間中に地震動強さがある値を超過する確率を算出した。その結果より、それぞれの地震動強さが構造物に与える影響を考慮して、地震危険度を評価した。

タイプごとの地震動の設定にあたって、最新の地震の発生時期が明確な地震については、非定常モデルを用いて検討を行うため、それぞれの年で発生確率が異なる。よって、ライフサイクルシナリオの検討時期である 2006 年から、検討対象係留施設の設計供用期間である 50 年間にわたって、各年ごとの発生確率を算出した。また、耐震水準を向上させた構造物の設計震度は $k_h=0.18$ であるが、設計供用期間の 50 年間でこれを上回る規模の地震が

発生する回数の累計が 1 回となるように設定した。

7.4 栈橋部のライフサイクルコスト

(1) 栈橋上部工の劣化度の推移とはりの終局耐力の予測

栈橋上部工の劣化度については、文献 29) に示された手法により将来予測を行った。その結果をスラブとはりに分けて、図-15 に示す。図中の横軸は、施設の供用開始時点からの経過年数であり、21 年目がライフサイクルシナリオ検討時点 (現時点)、70 年目が改良または更新を行った場合の設計供用期間終了時点である。これによれば、現時点における劣化度の予測値は、スラブ、はりとも劣化度 III となり、現地での劣化調査結果と同じ結果となった。したがって、表-11 に示した劣化予測のための入力条件は妥当であるものと判断されたため、これ以降も同表に示した値を用いることとした。

文献 19) に準拠して、鉄筋腐食による影響を考慮した栈橋上部工はりの終局耐力の将来予測を行った。その結果を図-15 にあわせて示す。これより、補修や改良等の対策を施さなければ、供用開始から 42 年で使用限界状態

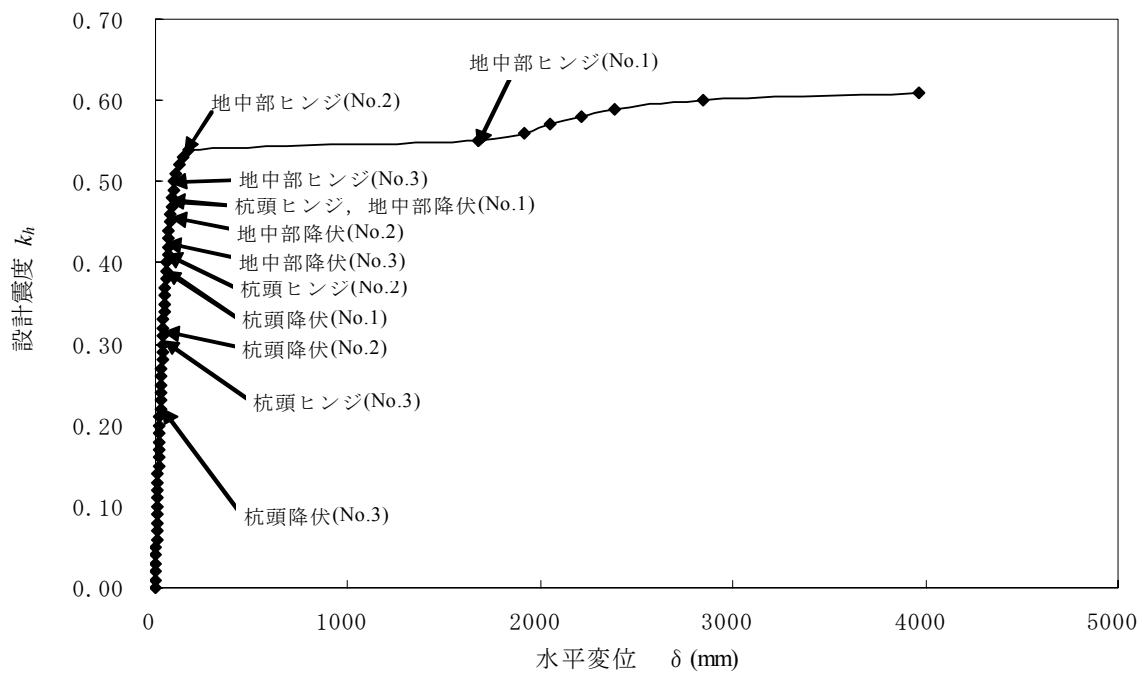


図-16 既設栈橋の破壊過程

に、48年で終局限界状態に到達すると予測された。7.1の前提条件でも述べたように、終局限界状態に達すると、常時の荷重に対しても上部工は安全であるとは言い難いため、遅くとも終局限界状態に達するより前に何らかの補修を行うものと考えた。

(2) 劣化状態に応じた補修対策の検討

a) 上部工

栈橋上部工の補修は、劣化度の推移予測結果に基づき、劣化度が次のグレードに移行する時点で行うものとした。あわせて、ライフサイクルシナリオ検討時点における補修も選択肢の1つとした。栈橋上部工に適用可能な補修対策工法は、劣化度に応じて、文献16)を参考に選定した。なお、それぞれの補修工法の実施範囲および数量は、文献29)に準拠して決定した。

検討の結果、栈橋上部工に対する補修シナリオについては、補修費用が最も経済的と評価された「劣化度 III の時点(検討時点)で電気防食工法による補修」を採用することとした。

b) 下部工

下部工の鋼管杭における重防食範囲(杭頭部～干満帯付近)は、現地での腐食調査時点では特に異状は見られなかったため、この範囲では鋼材腐食は発生していないものとした。また、この時点で、被覆防食材は耐用年数(耐用年数:15年)を経過していた。よって、近い将来、

被覆材の防食効果は完全に失われることが懸念されたため、検討時点で防食材の更新を行うものと考えた。その後は、被覆防食材の耐用年数が経過した時点で防食材を更新することとした。

一方、海中部については、7.1で示した前提条件によれば、設計時点で設定した許容腐食量を超過した時点で補修を行うこととしていた。しかしながら、現地での腐食調査結果をもとに、電気防食による防食効果が今後も持続するものとして設計供用期間終了時点における腐食量を算定した結果、許容腐食量を超過しない結果となった。したがって、海中部の鋼管杭に対しては、補強は考えず、電気防食に用いる陽極の更新のみを考えることとした。なお、陽極の耐用年数は20年とした。

以上をまとめると、下部工の鋼管杭に対する補修シナリオについては、重防食範囲はモルタルライニング工法による補修を検討時点とその後は15年おきに行い、海中部は供用50年目に電気防食の陽極の更新を行う組合せを採用することとした。

(3) 終局耐力の低下を考慮した期待復旧費用の算定

a) 限界震度の算定

栈橋部に対する限界震度の算定にあたっては、プッシュオーバー解析を行い、栈橋に生じる損傷イベントから栈橋の破壊過程を追跡し、法線直角方向の全杭列の杭頭部および地中部で塑性ヒンジが発生した時点における震

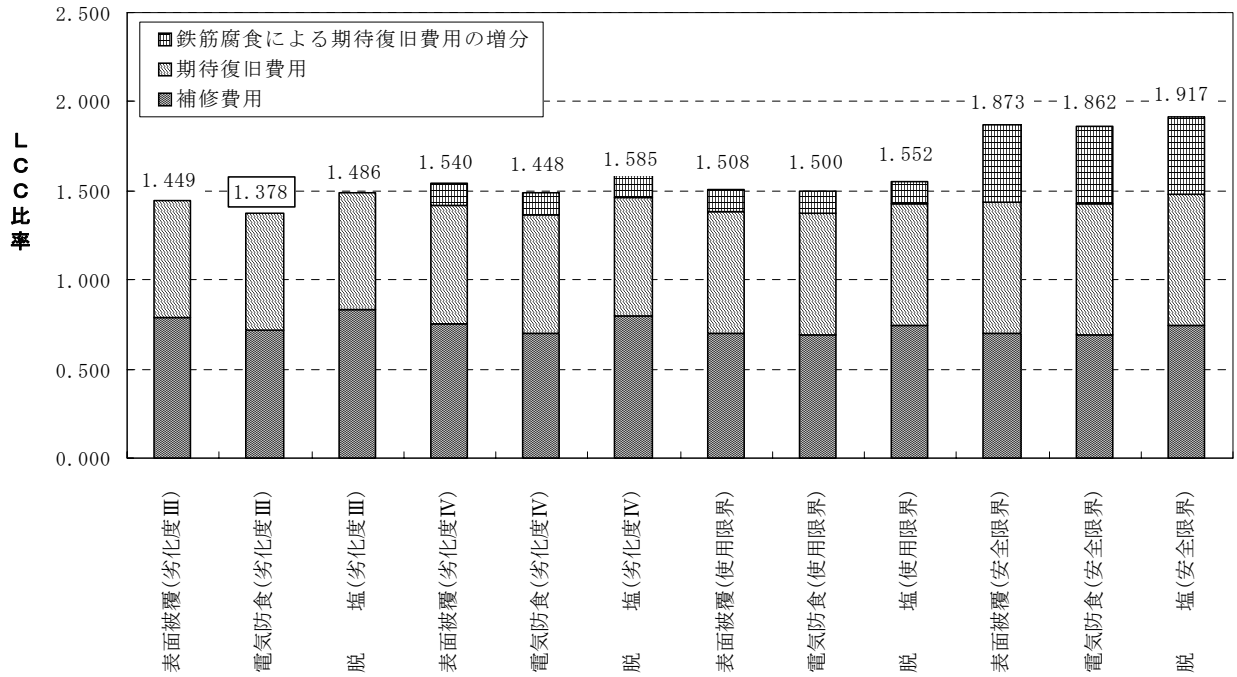


図-17 栈橋上部工の補修シナリオとライフサイクルコストの関係

度を限界震度として求めた。プッシュオーバー解析には、港湾空港技術研究所等が開発した N-Pier を使用した。図-16 に、既設栈橋の破壊過程を示す。これより、既設栈橋の限界震度は $k_{h(limit)}=0.54$ と算定された。同様に、改良または更新を行った栈橋に対して行ったプッシュオーバー解析により得られた破壊過程を付図-1 および付図-2 に示す。

また、当初設計時点における栈橋上部工の設計外力として、船舶の接岸力が支配的であった。これは、当初の設計震度が $k_h=0.10$ と小さかったためである。したがって、当初設計で用いられた船舶の接岸力を地震時荷重に換算して照査震度を定めた。その結果、照査震度は、 $k_{h(verif)}=0.15$ となった。

以上より、作用震度と被災（復旧）範囲の関係は、表-13 に示すとおりとなる。

b) 期待復旧費用の算定

地震危険度の評価結果をもとに、各作用震度に対して、地震の年発生回数の期待値を算定し、a) で示した被災（復旧）範囲を考慮して、期待復旧費用を算定した。

図-15 に示したように、劣化度 III 以降は、鉄筋腐食による断面減少が顕著になり、上部工はりの終局耐力が大きく低下していく。そこで、劣化度 III 以降に補修を行う場合について、式(7)により鉄筋腐食を考慮した相対作用震度を算定し、補修時期の違いが期待復旧費用に及ぼす影響を調べた。その結果を表-14 に示す。これより、

表-13 作用震度と被災（復旧）範囲

作用震度	復旧範囲
$k_{h(corr)} \leq 0.15$	被災なし
$0.15 < k_{h(corr)}$ $k_h \leq 0.54$	上部工
$0.54 < k_{h(corr)}$	栈橋全体 (上部工, 下部工)

表-14 作用震度と被災（復旧）範囲

栈橋上部工はりの補修時期	期待復旧費用
劣化度 III (検討時点)	0.657
劣化度 IV	0.790
使用限界状態	0.805
終局限界状態	1.170

検討時点で補修を行うケースに比べ、終局限界状態で補修を行うケースでは、期待復旧費用が約2倍となることがわかった。

本来であれば、補修後の栈橋上部工の再劣化現象を的確に評価し、ライフサイクルシナリオ評価に反映する必要がある。ここでの試算では、栈橋上部工に対する補修は、既設コンクリート中に残存する塩化物イオンや飛来塩分により鉄筋腐食が再び進行しないように行ったものと考え、再劣化現象について考慮しなかった。したが

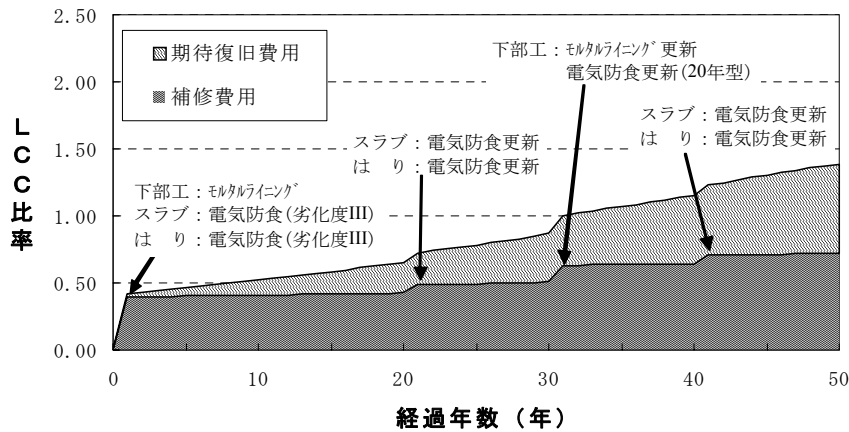


図-18 栈橋部のライフサイクルコストの経年変化（ライフサイクルシナリオ A-1）

って、補修後における栈橋上部工はりの終局耐力の低下はないものと仮定した。

(4) ライフサイクルコストの算定

これまでの検討結果より、上部工はりの補修条件（方法および実施時期）の違いにより、補修費用や復旧費用が異なることがわかった。これらの結果を総合して、栈橋上部工の補修シナリオごとのライフサイクルコストの算定を行った。その結果を図-17に示す。各々のシナリオに対するライフサイクルコスト比率（以下、LCC比率と呼ぶ）を比較した結果、上部工はりの劣化度がIIIの時点で電気防食工法により補修するシナリオが最も経済的となった。

ここで述べた栈橋上部工の結果に加えて、下部工についてもライフサイクルコストを算定し、両者を足し合わせることで、ライフサイクルシナリオ A-1 に対する評価を行うことができる。ライフサイクルコストの経年変化を図-18に示す。これより、上部工に対して電気防食を行った時点と下部工に対してモルタルライニングまたは電気防食を行った時点で補修費用が計上され、LCC比率が増加していることがわかる。また、経過年数の増加とともに、期待復旧費用が増加し、地震被災リスクが増大していることがわかる。これは、このライフサイクルシナリオでは、既設栈橋の耐震水準を向上させずに補修しながら利用し続けるため、鉄筋腐食の進行にともない上部工はりの性能（終局耐力）が低下し、被災を受ける確率が年々増加していくためである。

栈橋部を改良するシナリオ（A-2）および更新するシナリオ（A-3）についても同様に、ライフサイクルコストを算定した。図-19および図-20に、それぞれのシナリオに対するLCC比率の経年変化を示す。その結果、い

ずれのシナリオにおいても、下部工は金属ライニングによる被覆防食、上部工はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した予防保全的措置が最も経済的となった。これは、改良または更新を行う際には予防保全的な維持管理手法を採用すれば、対策に必要な初期コストは大きいものの、その後の維持補修にかかる費用が小さくなり、結果的にライフサイクルコストが小さくなったためである。

図-18～図-20を比較すると、栈橋部に対して設定したライフサイクルシナリオ（A-1～A-3）のうち、設計供用期間50年経過時におけるライフサイクルコストが最も小さいのはA-3であり、この試算における条件の範囲では、栈橋部を更新するライフサイクルシナリオが最適であると判断された。ただし、前述したとおり、ここでは、改良や更新の検討に用いた構造や断面は最適設計により定めたものでないことに加えて、多くの仮定や前提条件のもとに算定されたライフサイクルコストを用いてライフサイクルシナリオ評価を行っていることに注意が必要である。

7.5 土留め護岸部のライフサイクルコスト

(1) 期待復旧費用の算定

a) 液状化の判定

重力式土留め護岸における期待復旧費用の算定にあたっては、液状化の可能性を考慮する必要がある。5.(2)に示した手順にしたがって液状化の判定を行い、背後地盤または現地盤が液状化する可能性がある場合には、液状化を考慮した期待復旧費用を算定することとした。

液状化発生簡易予測手法では、各基盤加速度に対応する地表最大加速度の推定式として、S-252 NS Base（八戸波）およびS-1210 E41S（大船渡波）に対するものが

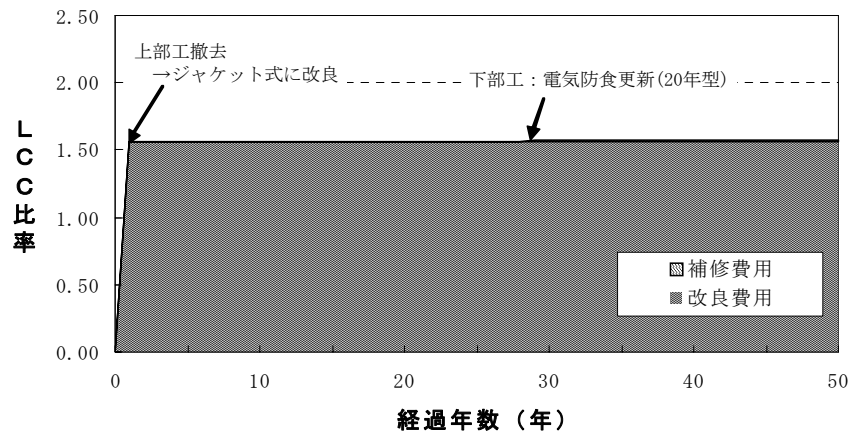


図-19 栈橋部のライフサイクルコストの経年変化（ライフサイクルシナリオ A-2）

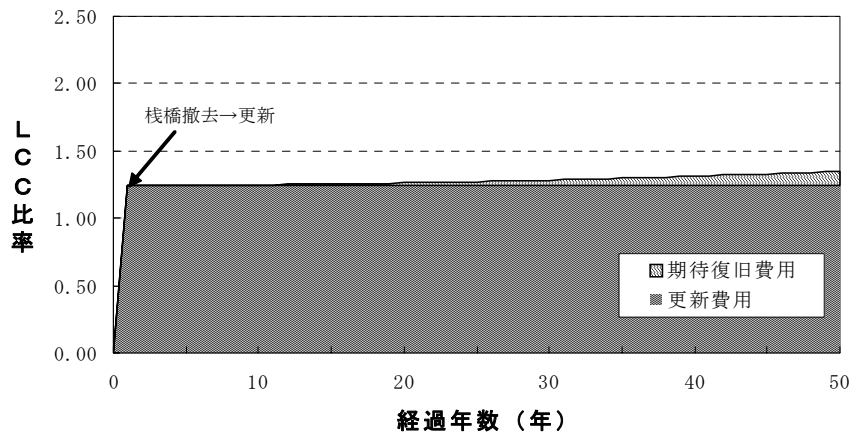


図-20 栈橋部のライフサイクルコストの経年変化（ライフサイクルシナリオ A-3）

示されている。各基盤加速度の値は、「港湾の施設の技術上の基準」の震度法における地域区分のうち、B地区～D地区に相当する加速度である。本検討地点は、C地区に相当するため、基盤加速度250Galに対応する推定式を用いて液状化の発生を予測した。

また、本試算における条件設定では、どちらの推定式が危険側の評価を与えるかは不明であった。そこで、両方の推定式を用いて液状化の発生を予測し、より危険側の評価となる方を採用することとした。評価結果にほとんど差はなかったが、S-1210 E41S（大船渡波）の方がわずかではあるが危険側の評価となった。しかしながら、いずれのケースにおいてもすべての深度において、図-10に示す判定区分のIIIまたはIVの判定結果となったため、液状化しないものと評価した。表-15に液状化発生の判定結果を示す。

b) 期待復旧費用の算定

液状化発生の判定結果によれば、液状化が発生する可能性はないとされたため、液状化対策を目的とした改良は行わないものとした。また、土留め護岸の前面は、栈橋と隣接しているため、前面側に堤体を拡幅することはできない。したがって、耐震水準を向上させる地震対策としては、背後地盤からの土圧を軽減するため、軽量土による部分置換えを行うこととした。

土留め護岸の期待復旧費用は、表-5および表-6に示した過去の被災事例に基づく回帰分析結果より算定した。既存施設を現状のまま利用するケース（B-1）と改良を行うケース（B-2）に対する算定結果を図-21に示す。改良を行ったケースでは耐震水準が向上しているため、現状のまま利用するケースに比べ、期待復旧費用が1/3程度に小さくなっていることがわかる。

(2) ライフサイクルコストの算定

期待復旧費用の算定結果と施設の改良に要する費用を

表-15 液状化判定結果

標尺 (m)	柱状図	地層深度 (m)	層厚 (m)	γ_t (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	計算深度	N 値	σ_v (kN/m ²)	$\sigma_{v'}$ (kN/m ²)	τ_{max} (kN/m ²)	等価 N 値	等価加速度	評価結果	
5	細砂	▽ 4.00	4.00	17.5	19.5	9.5	1.00	8	17.5	17.5	2.23	22.0	87.4	IV	
							2.00	8	35.0	35.0	4.34	19.6	85.1	IV	
							3.00	8	52.5	52.5	6.33	17.4	82.8	IV	
							4.00	8	72.0	62.0	8.44	8.2	93.4	III	
	砂		8.00	4.00	18.0	20.0	10.0	5.00	11	92.0	72.0	10.47	10.6	99.8	IV
								6.00	27	112.0	82.0	12.37	25.1	103.5	IV
								7.00	23	132.0	92.0	14.13	20.4	105.4	IV
								8.00	23	152.0	102.0	15.75	19.5	106.0	IV
10	シルト質砂						9.00	9	171.0	111.0	17.14	13.9	105.9	IV	
							10.00	9	189.0	119.0	18.30	13.3	105.5	IV	
							11.00	9	207.0	127.0	19.34	12.7	104.5	IV	
							12.00	11	225.0	135.0	20.26	15.3	102.9	IV	
15	細砂		1.00	17.5	19.5	9.5	13.00	21	244.5	144.5	21.18	14.9	100.6	IV	
							14.00	50	264.5	154.5	22.01	47.7	97.7	IV	
	砂							15.00	50	284.5	164.5	22.71	46.1	94.7	IV
								16.00	50	304.5	174.5	23.27	44.7	91.5	IV
								17.00	50	324.0	184.0	23.66	65.1	88.2	IV
								18.00	50	343.5	193.5	23.91	63.2	84.8	IV
	20	細砂						19.00	50	363.0	203.0	24.04	61.4	81.2	IV
								20.00	50	372.5	212.5				
21.00															

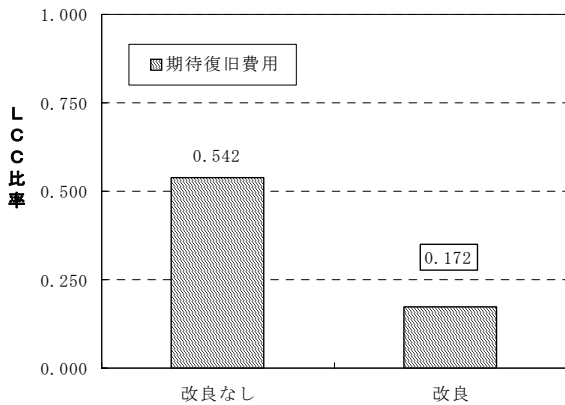


図-21 期待復旧費用の算定結果 (土留め護岸)

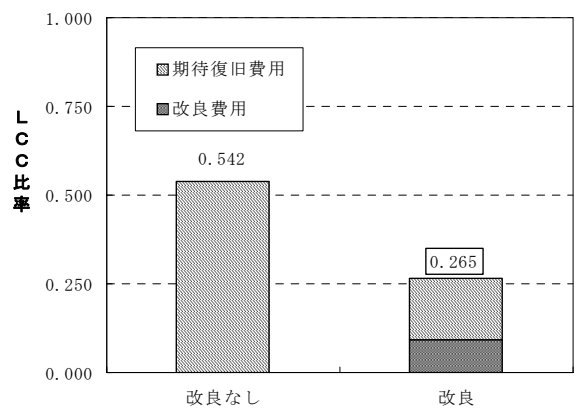


図-22 ライフサイクルコスト算定結果 (土留め護岸)

足し合わせて、土留め護岸に対するライフサイクルコストを算定した結果を図-22に示す。これより、改良を行うケースでは、改良にともなう費用が発生するものの、耐震水準が向上したことによる期待復旧費用の減少幅が

大きかったため、結果的にライフサイクルコストは改良を行わない場合の1/2程度となった。

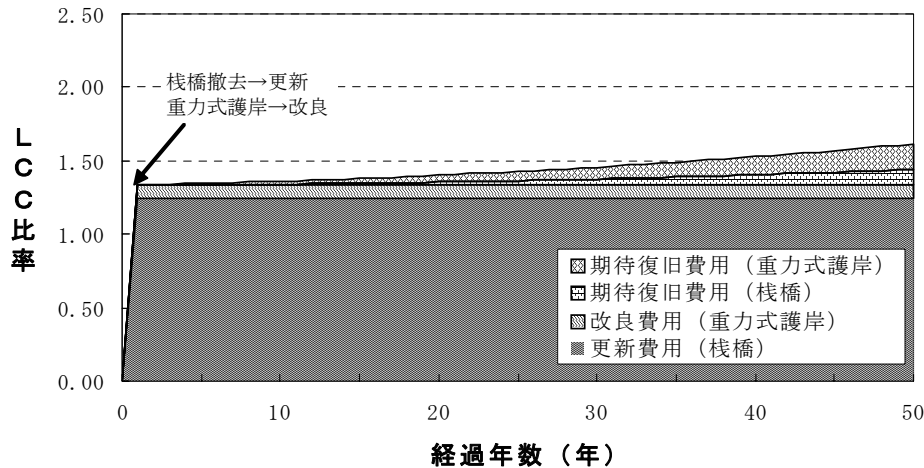


図-23 検討対象施設のライフサイクルコストの経年変化

7.6 ライフサイクルシナリオの評価結果

7.4 に示した栈橋部に対するライフサイクルコストの算定結果と 7.5 に示した土留め護岸部に対するライフサイクルコストの算定結果を総合して、検討対象の栈橋式係船岸全体に対するライフサイクルコストを求めた。その結果を図-23 に示す。これによれば、栈橋部については更新を行い（ライフサイクルシナリオ A-3）、土留め護岸部については改良を行う（ライフサイクルシナリオ B-2）組合せが最も経済的であった。本検討では、ライフサイクルコストが最も小さくなるケースを最適なシナリオとすることと考えたため、この組み合わせのライフサイクルシナリオが最適であると結論付けられた。

栈橋部を更新するケースが最もライフサイクルコストが小さくなったのは、予防保全的な維持管理を考慮した結果、更新にかかる費用が大きかったものの、その後の補修費用が発生しなかったこと、ならびに、耐震水準を向上させたため、期待復旧費用が小さくなったためである。土留め護岸部についても同様に、地震対策費用として初期に改良費用が発生するものの、耐震水準が向上したことにより期待復旧費用が大きく減少し、ライフサイクルコストが小さくなった。

8. まとめ

本検討では、耐震水準を向上させた既存施設のライフサイクルシナリオ評価方法について検討を行った。ここで検討した方法は、検討地点において発生する地震を考慮した地震危険度評価結果に基づいて、地震対策への投資効果を定量的に算定することで、ライフサイクルシナ

リオを評価できるものである。本研究で得られた成果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 地震発生確率を地震ハザード評価手法により算定し、既存施設の位置や評価時期を考慮した地震危険度の違いを評価する方法を提示した。
- (2) 地震危険度を用いて地震被災リスク（期待復旧費用）を推計し、これに補修等に要する費用に加えて、ライフサイクルコストを算定する方法を提示した。
- (3) ライフサイクルコストに基づく既存施設のライフサイクルシナリオの適切な設定および評価のための考え方を具体的に示した。

9. あとがき

本検討では、ライフサイクルコストが最小となるケースを最適なライフサイクルシナリオとして評価したが、実際には、施設の利用状況、利用計画および残存供用年数などを総合的に考慮して最適なライフサイクルシナリオを選択する必要があることは言うまでもない。

今後、本稿で示したライフサイクルシナリオ評価の考え方に基づく既存施設の有効活用を積極的に推進していくには、以下の観点に基づく検討をさらに行っていくことが必要である。

① 重力式および矢板式係船岸の評価

本稿では、重力式係船岸および矢板式係船岸の期待復旧費用の算定にあたって、過去の被災事例を回帰分析した過去の知見を基に検討を行った。しかしながら、これらは限られたデータのみを用いてまとめられたものであり、より精度良く期待復旧費用を算定するためには、港湾施設の地震被害に関するデータの蓄積および分析が重

要となる。特に、液状化が発生した場合の地震被害分析を重点的に行い、その取扱い方法について十分に検討する必要がある。

② 社会的損失の評価

本検討において、補修工事や地震対策工事にかかる費用の算定にあたっては、それぞれの工事にかかる直接費用のみを対象として、これが最小となるように対策工法を決定した。しかし実際には、補修工事または地震対策工事期間中に施設の供用停止が生じる場合があるため、この期間が極力短くなるように工法が選定される可能性が考えられる。今後は、施設の供用停止などの施設の利用条件等を考慮した工法の設定方法について検討を行う必要がある。

また本検討では、地震被害として施設の復旧に関する費用のみを対象として、期待復旧費用を算定した。しかし実際には、係留施設が地震被害を受けた場合、供用停止による施設利用収入の減少や副次的な社会的損失が発生することは容易に想像され、場合によっては直接的な被害額よりも大きな間接的な社会的損失を伴うことも考えられる。将来的には、期待復旧費用にこれらの間接的な費用や損失を加えることにより、より実態に即したライフサイクルシナリオ評価が可能となると考える。

③ 社会的割引率

本稿におけるライフサイクルコストの算定では、社会的割引率は考慮しなかった。社会的割引率は、将来の貨幣価値を現在価値に換算するための指標であり、実質諸利子率のうちで最高の値や、現行プロジェクトにおける内部収益率のうち最低の値などを参考に定める場合が多い。しかし、社会的割引率の具体的な設定方法は確立されておらず、将来における実質諸利子率を正確に予測することも困難である。したがって、社会的割引率を考慮してライフサイクルコストを算定するには、これらのことを踏まえて、適切な設定方法を構築しておく必要がある。

(2006年6月16日受付)

参考文献

- 1) 高橋宏直, 後藤文子, 横田弘: 港湾施設の維持補修・更新費の将来推計 (2005), 国土技術政策総合研究所資料, No.257, 2005年.
- 2) <http://www.chunichi.co.jp/saigai/jisin/news/030822.html>
- 3) 横田弘: 港湾施設の維持管理技術マニュアルの改訂動向, コンクリート工学, Vol.43, No.6, pp.3-9, 2005年.
- 4) 東京港埠頭公社: 土木施設維持管理マニュアル, 2004年.
- 5) 地震リスク・マネジメント研究会: 地震対策の普及を目的とした地震リスク・マネジメント手法の実用化, 建築研究資料, No.103, 2005年.
- 6) 中尾吉宏, 日下部毅明, 村越潤, 田村敬一: 確率論的なハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所報告, No.16, 2003年.
- 7) 柴田明德: 確率的手法による構造安全性の解析, 森北出版, 2005年.
- 8) <http://www.gishin.go.jp/main/index.html>
- 9) <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 10) 佐藤良輔編著: 日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989年.
- 11) 野津厚, 上部達生, 佐藤幸博, 篠澤巧: 距離減衰式から推定した地盤加速度と設計震度の関係, 港湾技研資料, No.893, 1997年.
- 12) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 平成13年.
- 13) 日下部毅明, 谷屋秀一, 吉澤勇一郎: 道路投資に対する地震の防災投資効果に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.160, 2004年.
- 14) 土木学会: コンクリート標準示方書 [維持管理編], 2001年.
- 15) 日経コンストラクション編集部: これから始めるコンクリート補修講座, 日経 BP 出版センター, pp.126-129, 2002年.
- 16) 横田弘, 山内浩, 加藤絵万, 岩波光保: 既設栈橋のライフサイクルシナリオに関する検討, 港湾空港技術研究資料, No.1114, 2005年.
- 17) 上部達生: 重力式係船岸の地震被災に関する研究, 港湾技研資料, No.548, 1986年.
- 18) 上部達生: 地震被災事例に基づく重力式および矢板式係船岸の被災変形量と被災額の推計, 港湾技研資料, No.473, 1983年.
- 19) 加藤絵万, 岩波光保, 横田弘, 中村晃史, 伊藤始: 繰返し載荷を受ける RC はりの構造性能に及ぼす鉄筋腐食の影響, 港湾空港技術研究所資料, No.1079, 2004年.
- 20) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, p.747, 1999年.
- 21) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, Vol.14, No.4, pp.67-112, 1975年.
- 22) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, pp.262-269, 1999年.

- 23) 野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, Vol.14, No.4, pp.67-112, 1975 年.
- 24) 長尾毅, 小泉哲也, 木阪恒彦, 寺内潔, 細川浩二, 門脇陽治, 宇野健司: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その9) 神戸港ケーソン式岸壁の安定性に関する一考察, 港湾技研資料, No.813, 1995 年.
- 25) 上部達生, 高野剛光, 松永康男: 兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察(その3) 神戸港のケーソン式大型岸壁の被害分析, 港湾技研資料, No.813, 1995 年.
- 26) 沿岸開発技術研究センター: 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 平成9年.
- 27) 土木学会地震工学委員会 耐震基準小委員会: 土木構造物耐震設計ガイドライン(案), 2001年.
- 28) 尾崎隆三, 長尾毅, 柴崎隆一: 経済損失を考慮した期待総費用最小化に基づく港湾構造物の常時のレベル1信頼性設計法, 国土技術政策総合研究所資料, No.217, 2005年.
- 29) 古玉悟, 田邊俊郎, 横田弘, 濱田秀則, 岩波光保, 日比智也: 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発, 港湾技研資料, No.1001, 2001年.

付録 地震危険度評価に用いたデータ

付表-1 バックグラウンドゾーンの上層と下層で発生する地震⁶⁾

バックグラウンドゾーン番号	地震数	最大小マチ M _L	最大大マチ M _W	バックグラウンドゾーンの上層+下層				バックグラウンドゾーン上層(震源深さ h≧30km)			バックグラウンドゾーン下層(震源深さ 30<h≦100km)		
				a値	b値	平均的な震源深さ(km)	年平均地震発生回数(回/年)	上層に含まれる地震記録数の割合 上層の地震記録数 上層+下層の地震記録数	平均的な震源深さ(km)	年平均地震発生回数(回/年)	下層に含まれる地震記録数の割合 下層の地震記録数 上層+下層の地震記録数	平均的な震源深さ(km)	年平均地震発生回数(回/年)
101	527	5.0	8.1	4.76	0.84	36.7	3.62	0.45	14.5	1.63	0.55	55.1	1.99
102	771	5.0	8.5	4.62	0.77	24.4	5.82	0.66	10.0	3.84	0.34	53.6	1.98
103	272	5.0	8.0	4.37	0.90	33.1	2.34	0.50	13.7	1.17	0.50	52.8	1.17
104	411	5.0	7.8	5.06	0.90	48.6	3.68	0.23	14.6	0.85	0.77	58.8	2.83
105	432	5.0	8.5	5.02	0.88	37.5	4.34	0.43	17.2	1.87	0.57	52.6	2.47
106	628	5.0	8.0	4.58	0.79	33.7	4.50	0.44	12.1	1.98	0.56	50.6	2.52
107	83	5.0	7.3	4.41	0.89	49.8	0.92	0.37	14.7	0.34	0.63	70.6	0.58
108	3	5.0	7.3	1.36	0.56	20.0	0.04	0.67	10.0	0.03	0.33	40.0	0.01
109	292	5.0	7.5	5.39	0.97	52.6	3.34	0.21	12.1	0.70	0.79	63.3	2.64
110	18	5.0	7.3	5.05	1.13	16.7	0.26	0.83	10.0	0.22	0.17	66.7	0.04
111	73	5.0	7.6	4.74	0.96	7.0	0.88	0.97	10.0	0.85	0.03	90.0	0.03
112	165	5.0	7.8	6.37	1.14	19.7	4.66	0.78	12.6	3.63	0.22	44.4	1.03
113	174	5.0	7.4	5.47	1.02	42.4	2.33	0.39	13.6	0.91	0.61	60.4	1.42
114	72	5.0	7.5	3.04	0.64	49.0	0.65	0.31	12.3	0.20	0.69	65.2	0.45
115	212	5.0	7.3	4.93	0.92	46.1	2.14	0.28	12.9	0.60	0.72	59.0	1.54
116	157	5.0	7.3	5.11	0.97	18.9	1.86	0.80	10.5	1.49	0.20	51.6	0.37
117	71	5.0	7.8	3.66	0.76	18.6	0.69	0.82	10.3	0.57	0.18	55.5	0.12
118	37	5.0	8.0	4.45	0.97	14.5	0.41	0.84	10.0	0.34	0.16	41.0	0.07
119	39	5.0	8.0	4.02	0.88	32.4	0.40	0.51	10.0	0.20	0.49	56.0	0.20
120	41	5.0	8.0	6.57	1.36	25.7	0.58	0.56	10.0	0.32	0.44	46.3	0.26
121	18	5.0	7.5	4.95	1.13	12.8	0.21	0.83	10.0	0.17	0.17	43.3	0.04
122	13	5.0	7.8	4.84	1.10	16.3	0.23	0.85	10.0	0.20	0.15	52.5	0.03
123	20	5.0	7.8	2.62	0.67	42.7	0.19	0.40	10.0	0.08	0.60	61.1	0.11
124	49	5.0	7.3	4.50	0.94	7.0	0.65	0.98	10.0	0.64	0.02	37.0	0.01
125	107	5.0	7.4	4.71	0.93	8.4	1.12	0.97	10.0	1.09	0.03	41.3	0.03
126	17	5.0	7.3	5.03	1.11	22.3	0.29	0.76	16.9	0.22	0.24	40.0	0.07
127	232	5.0	7.8	5.08	0.92	31.1	3.05	0.52	11.3	1.59	0.48	52.6	1.46
128	127	5.0	8.0	4.03	0.77	46.9	1.52	0.30	13.7	0.46	0.70	61.1	1.06
129	70	5.0	8.0	4.64	0.96	29.0	0.69	0.63	10.0	0.43	0.37	66.7	0.26
130	87	5.0	8.0	4.85	0.98	30.3	0.84	0.55	10.0	0.46	0.45	58.9	0.38
131	10	5.0	7.3	3.22	0.82	18.8	0.13	0.90	10.0	0.12	0.10	100.0	0.01
132	34	5.0	7.3	4.82	1.03	5.9	0.47	1.00	10.0	0.47	0.00		0.00
133	17	5.0	7.3	4.15	0.98	20.7	0.18	0.76	10.0	0.14	0.24	57.5	0.04
134	33	5.0	7.3	3.19	0.72	28.9	0.37	0.64	10.0	0.24	0.36	67.6	0.13

付表-2 主要 98 活断層 (1)

コード	断層名	最新活動時期 (西暦)	平均活動 間隔 μ	活動間隔 のばらつ き α	マグニチュード M	深さ d (km)	方 向 θ (°)	傾 き δ (°)	長 さ L (km)	幅 W (km)
0101	標津断層帯	---	17,000	---	7.7	3.0	215.369	60.0	52.528	14.0
0201	十勝平野断層帯主部	---	19,500	---	8.0	3.0	9.855	60.0	84.368	20.0
0202	光地園断層	---	14,000	---	7.2	3.0	333.423	60.0	27.103	20.0
0301	富良野断層帯西部	919	4,000	0.24	7.2	3.0	196.224	60.0	28.894	14.0
0302	富良野断層帯東部	---	12,500	---	7.2	3.0	11.684	60.0	26.491	14.0
0401	増毛山地東縁断層帯	---	5,000	---	7.8	3.0	197.760	60.0	58.162	20.0
0402	沼田-砂川付近の断層帯	---	12,000	---	7.5	3.0	0.218	60.0	36.988	20.0
0501	当別断層帯	B.C. 4,595	11,250	0.24	7.0	3.0	180.491	40.0	18.495	19.0
0601-1	石狩低地東縁断層帯主部	B.C. 2,245	4,800	0.24	7.3	7.0	12.830	45.0	43.581	24.0
0601-2		B.C. 2,245	4,800	0.24	7.3	7.0	345.608	45.0	26.790	24.0
0602	石狩低地東縁断層帯南部	---	9,100	---	7.1	3.0	340.143	45.0	23.689	24.0
0701	黒松内低地断層帯	B.C. 3,395	4,300	0.24	7.3	3.0	170.102	60.0	31.888	14.0
0801	函館平野西縁断層帯	B.C. 5,192	15,000	0.24	7.3	3.0	186.845	60.0	22.393	14.0
0901	青森湾西岸断層帯	---	4,500	---	7.3	3.0	166.842	60.0	30.389	14.0
1001	津軽山地西縁断層帯北部	---	6,000	---	6.8	3.0	339.406	60.0	15.794	14.0
1002	津軽山地西縁断層帯南部	---	6,000	---	7.1	3.0	6.802	60.0	24.192	14.0
1101	折爪断層	---	15,000	---	7.6	3.0	161.928	60.0	46.596	14.0
1201	能代断層帯	1,694	2,400	0.24	7.1	3.0	7.821	60.0	22.395	14.0
1301	北上低地西縁断層帯	B.C. 2,495	21,000	0.24	7.8	3.0	182.562	35.0	61.083	21.0
1401	雫石盆地西縁断層帯	---	5,400	---	6.9	3.0	189.637	60.0	16.895	14.0
1402	真昼山地東縁断層帯北部	1,896	18,650	0.24	7.0	3.0	208.585	40.0	21.000	19.0
1403	真昼山地東縁断層帯南部	---	5,400	---	6.9	3.0	184.502	60.0	18.592	14.0
1501	横手盆地東縁断層帯北部	1,896	3,400	0.24	7.2	3.0	12.621	25.0	26.490	27.0
1502	横手盆地東縁断層帯南部	---	9,500	---	7.3	3.0	357.343	60.0	29.589	14.0
1601	北由利断層	---	4,000	---	7.3	3.0	0.504	60.0	29.590	20.0
1701	新庄盆地断層帯	---	4,000	---	7.1	3.0	19.873	60.0	21.590	14.0
1801-1	山形盆地活断層	B.C. 1,098	3,000	0.24	7.1	4.0	184.367	45.0	29.992	17.0
1801-2		B.C. 1,098	3,000	0.24	7.1	4.0	195.315	45.0	29.989	17.0
1901	庄内平野東縁断層帯	402	3,500	0.24	7.5	3.0	356.062	60.0	37.092	20.0
2001	長町-利府線断層帯	---	5,000	---	7.5	3.0	231.854	40.0	38.852	16.0
2101	福島盆地西縁断層帯	52	8,000	0.24	7.8	3.0	210.055	45.0	56.058	17.0
2201	長井盆地西縁断層帯	805	5,650	0.24	7.7	3.0	187.135	60.0	50.286	14.0
2301	双葉断層	B.C. 98	10,000	0.24	7.5	3.0	169.420	90.0	39.503	12.0
2401	会津盆地西縁断層帯	1,611	8,600	0.24	7.4	3.0	192.492	60.0	34.088	14.0
2402	会津盆地東縁断層帯	---	16,000	---	7.7	3.0	12.020	60.0	49.179	14.0
2501	櫛形山脈断層帯	B.C. 1448	4,500	0.24	6.8	3.0	205.731	45.0	16.493	17.0
2601	月岡断層帯	B.C. 1,698	7,500	0.24	7.3	3.0	199.817	55.0	29.588	15.0
2701	長岡平野西縁断層帯	1,602	2,450	0.24	8.0	3.0	184.990	55.0	81.676	27.0
2901	鴨川低地断層帯	---	7,900	---	7.2	3.0	265.630	90.0	24.394	12.0
3001	関谷断層	1,500	3,350	0.24	7.5	3.0	191.274	30.0	37.687	24.0
3101	関東平野北西縁断層帯主部	B.C. 2,345	21,500	0.24	8.0	3.0	121.393	60.0	82.420	20.0
3102	平井-榑挽断層帯	---	7,000	---	7.1	3.0	124.007	90.0	23.404	17.0
3401	立川断層帯	B.C. 14,495	12,500	0.24	7.4	3.0	135.244	90.0	33.967	15.0
3501	伊勢原断層帯	1,050	5,000	0.24	7.0	3.0	351.799	60.0	20.595	14.0
3601-1	神縄・国府津-松田断層帯	1,225	1,050	0.24	7.5	3.0	273.744	75.0	14.278	10.0
3601-2		1,225	1,050	0.24	7.5	3.0	321.056	50.0	9.598	13.0
3601-3		1,225	1,050	0.24	7.5	3.0	333.473	50.0	26.899	13.0
3701	三浦半島断層群主部衣笠・北武断層帯	600	3,400	0.24	6.7	3.0	300.129	45.0	27.976	17.0
3702	三浦半島断層群主部武山断層帯	B.C. 98	1,750	0.24	6.5	3.0	300.118	45.0	19.986	17.0
3703	三浦半島断層群南部	---	1,600	---	7.0	3.0	300.117	90.0	19.983	12.0
3801	北伊豆断層帯	1,930	1,450	0.24	7.3	3.0	196.573	90.0	31.646	7.0
3901	十日市断層帯西部	---	2,500	---	7.4	3.0	210.262	60.0	32.175	14.0
3902	十日市断層帯東部	---	6,000	---	7.0	3.0	23.867	60.0	18.195	14.0
4001	長野盆地西縁断層帯	1,847	1,650	0.24	7.8	3.0	216.611	60.0	55.230	14.0
4101-1	糸魚川-静岡構造線断層帯北部・中部	800	1,000	0.24	7.4	4.0	3.349	40.0	25.995	20.0
4101-2		800	1,000	0.24	7.4	4.0	344.293	40.0	34.993	20.0
4101-3		800	1,000	0.24	7.4	4.0	337.270	80.0	17.000	13.0
4101-4		800	1,000	0.24	7.4	4.0	318.155	80.0	34.009	13.0
4201	糸魚川-静岡構造線断層帯南部	---	1,200	---	7.3	4.0	155.262	60.0	30.599	20.0
4301	富士川河口断層帯	472	1,700	0.24	8.0	3.0	181.959	60.0	19.993	8.0
4501-1	木曾山脈西縁断層帯主部北部	1,250	7,750	0.24	7.5	3.0	20.993	40.0	25.687	26.0
4501-2		1,250	7,750	0.24	7.5	3.0	44.878	90.0	12.892	17.0
4502	木曾山脈西縁断層帯主部南部	B.C. 3,145	14,250	0.24	6.3	3.0	9.812	90.0	9.399	9.0
4503	清内路峠断層帯	---	11,000	---	7.4	3.0	13.264	90.0	34.087	17.0
4601	境峠・神谷断層帯主部	B.C. 1,298	3,850	0.24	7.6	3.0	145.703	90.0	47.253	12.0
4602	霧訪山-奈良井断層帯	---	2,200	---	7.2	3.0	49.024	90.0	27.975	12.0
4701	跡津川断層帯	1,857	2,500	0.24	7.9	3.0	59.591	90.0	69.380	12.0
4801	国府川断層帯	B.C. 498	3,950	0.24	6.6	3.0	51.603	90.0	26.774	14.0
4802	高山断層帯	---	4,000	---	6.9	3.0	49.140	90.0	46.638	14.0
4803	猪之鼻断層帯	---	7,600	---	6.5	3.0	56.346	90.0	23.379	14.0
4901	牛首断層帯	1,100	6,050	0.24	7.7	3.0	52.578	90.0	54.748	12.0
5001	庄川断層帯	1,300	5,250	0.24	7.9	3.0	160.510	90.0	66.754	12.0

付表-2 主要98活断層 (2)

コード	断層名	最新活動時期 (西暦)	平均活動 間隔 μ	活動間隔 のばらつ き α	マグニチュード M	深さ d (km)	方向 θ (°)	傾き δ (°)	長さ L (km)	幅 W (km)
5101	伊那谷断層帯境界断層	B. C. 1, 398	7, 500	0. 24	7. 7	3. 0	206. 869	60. 0	47. 465	17. 0
5102	伊那谷断層帯前縁断層	B. C. 15745	12, 000	0. 24	7. 8	3. 0	194. 036	30. 0	57. 075	30. 0
5201	阿寺断層帯主部北部	B. C. 1, 195	2, 150	0. 24	6. 9	3. 0	169. 797	90. 0	16. 894	12. 0
5202	阿寺断層帯主部南部	1, 586	1, 700	0. 24	7. 8	3. 0	132. 795	90. 0	60. 622	12. 0
5203	佐見断層帯	---	7, 900	---	7. 2	3. 0	63. 850	90. 0	25. 178	12. 0
5204	白川断層帯	---	9, 800	---	7. 3	3. 0	68. 850	90. 0	30. 773	12. 0
5301	屏風山断層帯	---	8, 000	---	6. 8	3. 0	61. 315	60. 0	15. 500	16. 0
5302	赤河断層帯	---	7, 300	---	7. 1	3. 0	125. 409	60. 0	22. 303	14. 0
5303-1	恵那山一猿投山北断層帯	B. C. 4, 495	10, 600	0. 24	7. 7	3. 0	55. 992	40. 0	36. 516	26. 0
5303-2		B. C. 4, 495	10, 600	0. 24	7. 7	3. 0	48. 407	90. 0	22. 303	17. 0
5304-1	猿投一高浜断層帯	B. C. 11, 995	40, 000	0. 24	7. 7	3. 0	217. 598	65. 0	35. 007	19. 0
5304-2		B. C. 11, 995	40, 000	0. 24	7. 7	3. 0	152. 922	65. 0	16. 593	19. 0
5305-1	加木屋断層帯	---	30, 000	---	7. 4	3. 0	166. 960	60. 0	13. 294	20. 0
5305-2		---	30, 000	---	7. 4	3. 0	350. 163	60. 0	26. 290	20. 0
5501	巴知湯断層帯	---	1, 650	---	7. 6	3. 0	35. 808	30. 0	43. 255	34. 0
5601	砺波平野断層帯西部	B. C. 2, 795	8, 500	0. 24	6. 8	4. 0	220. 147	45. 0	28. 977	23. 0
5602-1	砺波平野断層帯東部	B. C. 1, 995	5, 000	0. 24	6. 8	4. 0	29. 622	45. 0	21. 198	23. 0
5602-2		B. C. 1, 995	5, 000	0. 24	6. 8	4. 0	350. 926	45. 0	9. 397	23. 0
5603	呉羽山断層帯	---	4, 000	---	6. 9	4. 0	210. 544	45. 0	32. 178	23. 0
5701	森本・富樫断層帯	900	2, 000	0. 24	6. 6	4. 0	25. 443	45. 0	24. 488	20. 0
5801	福井平野東縁断層帯主部	---	12, 500	---	7. 6	3. 0	174. 910	90. 0	46. 144	12. 0
5802	福井平野東縁断層帯西部	57	4, 800	0. 24	7. 1	3. 0	156. 639	90. 0	34. 198	12. 0
5901	長良川上流断層帯	---	4, 800	---	7. 3	3. 0	152. 597	90. 0	29. 182	12. 0
6001	温見断層帯北西部	1, 891	2, 300	0. 24	6. 8	3. 0	136. 262	90. 0	15. 291	12. 0
6002	温見断層帯南東部	---	1, 700	---	7. 0	3. 0	119. 074	90. 0	20. 314	12. 0
6003	濃尾断層帯主部根尾谷断層帯	1, 891	2, 850	0. 24	7. 3	3. 0	143. 370	90. 0	30. 077	12. 0
6004	濃尾断層帯主部梅原断層帯	1, 891	14, 500	0. 24	7. 4	3. 0	125. 539	90. 0	35. 163	17. 0
6005	濃尾断層帯主部三田洞断層帯	---	15, 000	---	7. 0	3. 0	126. 500	90. 0	18. 800	17. 0
6006	掛斐川断層帯	---	7, 600	---	7. 1	3. 0	123. 821	90. 0	23. 479	12. 0
6007	武儀川断層帯	---	9, 200	---	7. 3	3. 0	117. 075	90. 0	28. 776	17. 0
6101-1	柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部北部	1, 650	2, 500	0. 24	7. 6	3. 0	315. 086	40. 0	23. 481	19. 0
6101-2		1, 650	2, 500	0. 24	7. 6	3. 0	22. 064	60. 0	23. 989	14. 0
6102	柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部中部	---	3, 800	---	6. 6	3. 0	353. 312	90. 0	12. 997	12. 0
6103	柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部南部	---	14, 000	---	7. 6	3. 0	135. 821	90. 0	44. 451	12. 0
6104	浦底一柳ヶ瀬山断層帯	---	20, 000	---	7. 2	3. 0	140. 771	90. 0	23. 884	12. 0
6301	野坂断層帯	1, 550	6, 600	0. 24	7. 3	3. 0	136. 480	90. 0	30. 574	12. 0
6302	集福寺断層帯	---	3, 200	---	6. 5	3. 0	140. 628	90. 0	9. 596	10. 0
6401	湖北山地断層帯北西部	1, 200	3, 500	0. 24	7. 2	3. 0	30. 638	90. 0	23. 686	12. 0
6402	湖北山地断層帯南東部	1, 550	7, 000	0. 24	6. 8	3. 0	39. 239	90. 0	16. 689	12. 0
6501	琵琶湖西岸断層帯	B. C. 595	3, 200	0. 24	7. 1	3. 0	197. 085	70. 0	59. 996	16. 0
6701-1	養老一桑名一四日市断層帯	1, 400	1, 650	0. 24	8. 0	3. 0	153. 698	30. 0	36. 490	30. 0
6701-2		1, 400	1, 650	0. 24	8. 0	3. 0	202. 043	30. 0	19. 989	30. 0
6801	鈴鹿東縁断層帯	B. C. 1, 145	9, 250	0. 24	7. 5	3. 0	190. 007	60. 0	46. 418	20. 0
6901	鈴鹿西縁断層帯	---	27, 000	---	7. 6	3. 0	357. 781	35. 0	44. 386	30. 0
7001	頓宮断層帯	B. C. 3, 648	10, 000	0. 24	7. 3	3. 0	356. 877	65. 0	29. 593	13. 0
7101	布引山地東縁断層帯西部	B. C. 12, 198	17, 000	0. 24	7. 4	3. 0	174. 578	55. 0	33. 390	15. 0
7102	布引山地東縁断層帯東部	B. C. 8, 995	25, 000	0. 24	7. 6	3. 0	196. 267	45. 0	48. 178	24. 0
7201	木津川断層帯	1, 854	14, 500	0. 24	7. 3	3. 0	249. 936	50. 0	32. 471	16. 0
7301	三方断層帯	1, 662	5, 050	0. 24	7. 2	3. 0	356. 754	60. 0	25. 892	14. 0
7302	花折断層帯北部	---	---	---	7. 2	3. 0	16. 333	90. 0	26. 989	15. 0
7303-1	花折断層帯中南部	B. C. 98	5, 350	0. 24	7. 3	3. 0	22. 380	90. 0	19. 991	15. 0
7303-2		B. C. 98	5, 350	0. 24	7. 3	3. 0	354. 901	50. 0	16. 697	20. 0
7401	山田断層帯主部	---	10, 000	---	7. 4	3. 0	52. 401	90. 0	31. 440	7. 0
7402	郷村断層帯	1, 927	12, 500	0. 24	7. 4	3. 0	151. 331	90. 0	33. 879	12. 0
7501	奈良盆地東縁断層帯	B. C. 4, 098	5, 000	0. 24	7. 4	3. 0	355. 094	55. 0	35. 290	15. 0
7601	有馬一高槻断層帯	1, 596	1, 500	0. 24	7. 7	3. 0	79. 703	90. 0	53. 561	15. 0
7701	生駒断層帯	705	4, 500	0. 24	7. 5	3. 0	9. 554	35. 0	37. 488	21. 0
7801	上林川断層帯	---	8, 300	---	7. 2	3. 0	57. 279	90. 0	27. 107	12. 0
7802	三峠断層帯	---	6, 000	---	7. 2	3. 0	102. 498	90. 0	26. 385	12. 0
7803-1	京都西山断層帯	B. C. 98	4, 550	0. 24	7. 5	3. 0	118. 660	90. 0	31. 108	12. 0
7803-2		B. C. 98	4, 550	0. 24	7. 5	3. 0	185. 403	60. 0	16. 697	14. 0
7901	六甲・淡路島断層帯主部六甲山地南縁一淡路島東岸区間	1, 550	1, 850	0. 24	7. 9	3. 0	234. 115	60. 0	70. 293	14. 0
7902	六甲・淡路島断層帯主部淡路島西岸区間	1, 995	2, 150	0. 24	7. 1	3. 0	58. 409	80. 0	24. 981	12. 0
7903	先山断層帯	1, 300	7, 500	0. 24	6. 6	3. 0	213. 337	60. 0	11. 099	11. 0
8001	上町断層帯	B. C. 16, 495	8, 000	0. 24	7. 5	3. 0	8. 486	70. 0	42. 985	13. 0
8101-1	中央構造線断層帯金剛山地東縁一和泉山脈南縁	200	7, 000	0. 24	7. 1	4. 0	254. 370	43. 0	60. 030	16. 0
8101-2	中央構造線断層帯紀淡海峡一鳴門海峡	200	7, 000	0. 24	7. 1	4. 0	164. 197	43. 0	11. 797	16. 0
8102	中央構造線断層帯石鎚山脈北縁	B. C. 845	5, 000	0. 24	7. 7	3. 0	261. 136	30. 0	36. 696	24. 0
8103	中央構造線断層帯石鎚山脈北縁	1, 550	1, 300	0. 24	8. 0	3. 0	256. 730	35. 0	130. 864	21. 0
8104	中央構造線断層帯石鎚山脈北縁	1, 550	1, 750	0. 24	7. 3	3. 0	252. 626	90. 0	30. 674	12. 0
8105	中央構造線断層帯石鎚山脈北縁西部一伊予灘	1, 550	1, 950	0. 24	8. 0	3. 0	243. 329	90. 0	133. 432	12. 0

付表-2 主要98活断層 (3)

コード	断層名	最新活動時期 (西暦)	平均活動 間隔 μ	活動間隔 のばらつ き α	マグニチュード M	深さ d (km)	方向 θ (°)	傾き δ (°)	長さ L (km)	幅 W (km)
8201	那岐山断層帯	---	35,000	---	7.0	3.0	262.863	45.0	29.098	25.0
8202	山崎断層帯主部北西部	868	2,050	0.24	7.1	3.0	123.952	90.0	49.530	18.0
8203	山崎断層帯主部南東部	B.C. 498	3,000	0.24	6.7	3.0	131.423	90.0	30.573	18.0
8204	草谷断層帯	800	5,000	0.24	6.7	3.0	242.243	90.0	11.993	12.0
8401	長尾断層帯	1,200	30,000	0.24	7.1	3.0	80.543	35.0	23.288	21.0
8701	五日市断層帯	---	6,400	---	6.5	3.0	18.175	90.0	19.493	20.0
8702	己斐-広島西縁断層帯	---	7,900	---	6.5	3.0	18.146	90.0	9.695	10.0
8801	岩国断層帯	B.C. 8,495	13,500	0.24	7.6	3.0	65.269	90.0	43.950	17.0
9001	菊川断層帯	---	14,000	---	7.6	3.0	133.253	90.0	43.756	10.0
9101	西山断層帯	---	9,800	---	7.3	3.0	146.971	90.0	30.977	12.0
9201	別府湾-日出生断層帯東部	1,596	1,500	0.24	7.6	3.0	84.589	60.0	42.096	14.0
9202	別府湾-日出生断層帯西部	B.C. 2,348	19,000	0.24	7.3	3.0	89.823	60.0	32.591	14.0
9203	大分平野-湯布院断層帯東部	202	2,650	0.24	7.2	3.0	281.582	60.0	26.983	14.0
9204	大分平野-湯布院断層帯西部	---	12,000	---	6.7	3.0	261.295	60.0	12.599	14.0
9205	野稲岳-万年山断層帯	B.C. 648	4,000	0.24	7.3	3.0	89.919	60.0	31.090	8.0
9206	崩平山-亀石山断層帯	1,602	5,800	0.24	7.4	3.0	276.106	60.0	34.381	8.0
9301	布田川・日奈久断層帯北東部	650	19,000	0.24	7.2	3.0	225.437	90.0	26.279	12.0
9302	布田川・日奈久断層帯中部	B.C. 5,745	10,500	0.24	6.9	3.0	216.148	60.0	47.954	14.0
9303	布田川・日奈久断層帯南西部	---	8,600	---	7.2	3.0	236.420	60.0	26.477	14.0
9401	水縄断層帯	679	14,000	0.24	7.2	3.0	266.172	60.0	26.494	14.0
9501	雲仙断層群北部	---	2,400	---	7.3	3.0	85.810	60.0	28.189	14.0
9502	雲仙断層群南東部	---	1,800	---	7.1	3.0	278.526	60.0	23.688	14.0
9503	雲仙断層群南西部	352	3,600	0.24	7.5	3.0	253.195	60.0	39.108	14.0
9601	出水断層帯	B.C. 2,845	8,000	0.24	7.0	3.0	227.968	45.0	19.202	17.0
9701	伊勢湾断層帯主部北部	1,250	12,500	0.24	7.2	3.0	341.235	65.0	23.488	17.0
9702	伊勢湾断層帯主部南部	250	7,500	0.24	6.9	3.0	304.066	60.0	16.588	17.0
9703	白子-野間断層帯	B.C. 3,745	8,000	0.24	7.0	3.0	272.382	60.0	18.235	17.0
9801	大阪湾断層帯	1,402	5,000	0.24	7.5	3.0	206.048	70.0	38.977	13.0

付表-3 主要98活断層以外の活断層 (1)

コード	断層名	平均活動間	マクニチュート	深さ	方向	傾き	長さ	幅
		μ	M					
30001	羅臼岳断層帯	1.000	6.6	3.0	228.431	90.0	14.131	14.131
30002	斜里岳東断層帯	1.500	6.7	3.0	210.691	90.0	12.971	12.971
30003	網走湖断層帯	4.800	6.8	3.0	193.593	90.0	17.140	15.000
30004	常呂川東岸断層	3.200	6.5	3.0	199.985	90.0	11.810	11.810
30005	間寒別断層帯	12.200	7.0	3.0	183.820	90.0	20.412	15.000
30006	幌延断層帯	3.500	7.1	3.0	168.004	90.0	24.636	15.000
30007	サロベツ断層帯	15.500	7.5	3.0	168.905	90.0	39.680	15.000
30008	ボンニタシベツ断層	3.500	6.6	3.0	138.971	90.0	12.282	12.282
30009	三ツ石一浦河断層帯	3.800	6.6	3.0	119.668	90.0	11.125	11.125
30010	軽舞断層(石狩残部)	23.700	6.7	3.0	153.976	90.0	12.381	12.381
30011	野幌丘陵断層帯	7.900	7.0	3.0	172.124	90.0	18.711	15.000
30012-1	尻別川断層帯	7.900	7.2	3.0	149.363	90.0	10.743	10.743
30012-2		7.900	7.2	3.0	200.119	90.0	11.838	11.838
30013	八雲断層帯	0.800	6.5	3.0	204.023	90.0	10.132	10.132
30014	野辺地断層帯	6.400	7.0	3.0	171.953	90.0	20.549	15.000
30015	津軽山地西縁断層帯北部・中部残	49.600	6.8	3.0	164.355	90.0	15.392	15.000
30016-1	岩木山南麓断層帯	3.500	6.6	3.0	252.173	90.0	5.939	5.939
30016-2		3.500	6.6	3.0	108.521	90.0	5.939	5.939
30017	花輪盆地断層帯	4.500	6.9	3.0	196.063	90.0	15.403	15.000
30018-1	滝沢鶴飼西断層(北上残部)	28.700	6.9	3.0	197.007	90.0	9.682	9.682
30018-2		28.700	6.9	3.0	168.905	90.0	7.537	7.537
30019-1	田沢湖断層帯	2.000	6.5	3.0	152.814	90.0	6.243	6.243
30019-2		2.000	6.5	3.0	229.294	90.0	5.666	5.666
30020	北口断層帯	5.100	6.8	3.0	201.468	90.0	15.861	15.000
30021	横手盆地西南断層帯	35.500	7.0	3.0	180.295	90.0	20.350	15.000
30022	鳥田目断層帯	7.600	7.1	3.0	194.909	90.0	22.931	15.000
30023-1	釜ヶ台断層帯	3.500	6.6	3.0	173.128	90.0	11.193	11.193
30023-2		3.500	6.6	3.0	180.505	90.0	5.550	5.550
30024	象潟断層帯	0.800	6.5	3.0	171.713	90.0	9.362	9.362
30025-1	旭山境曲帯	36.500	7.1	3.0	112.813	90.0	9.468	9.468
30025-2		36.500	7.1	3.0	179.782	90.0	14.798	14.798
30026	愛島推定断層	36.400	6.6	3.0	179.990	90.0	12.947	12.947
30027	作並一屋敷平断層帯	26.500	6.5	3.0	194.868	90.0	11.475	11.475
30028	遠刈田断層帯	2.900	6.6	3.0	180.164	90.0	11.097	11.097
30029	尾花沢断層帯	2.200	6.7	3.0	180.270	90.0	12.948	12.948
30030	新庄盆地西縁断層帯残部	3.700	7.1	3.0	157.265	90.0	22.127	15.000
30031	小樽川断層帯	3.200	6.5	3.0	247.685	90.0	9.544	9.544
30032	双葉断層南部C級残	120.000	7.6	3.0	168.484	90.0	47.080	15.000
30033	大阪一足沢断層帯	12.700	6.8	3.0	190.642	90.0	15.089	15.000
30034	二ツ箭断層	3.200	6.5	3.0	121.343	90.0	10.477	10.477
30035	三郡森断層帯	5.700	6.9	3.0	170.302	90.0	18.730	15.000
30036	湯ノ岳断層	3.800	6.6	3.0	121.388	90.0	13.984	13.984
30037	井戸沢断層	62.900	7.0	3.0	174.874	90.0	18.553	15.000
30038	高荻付近推定	56.300	6.9	3.0	186.047	90.0	13.030	13.030
30039	棚倉破砕帯西縁断層	66.200	7.0	3.0	155.535	90.0	18.230	15.000
30040	安達太良山東麓断層帯	2.400	6.8	3.0	185.371	90.0	14.869	14.869
30041	川桁山断層帯	11.900	6.8	3.0	179.807	90.0	14.795	14.795
30042	白川西方断層帯	59.600	6.9	3.0	197.572	90.0	19.417	15.000
30043	檜枝岐西断層	25.400	6.8	3.0	232.794	90.0	24.291	15.000
30044	虚空蔵山東方断層	3.500	6.6	3.0	211.603	90.0	10.935	10.935
30045-1	羽津断層帯	3.200	6.7	3.0	207.268	90.0	6.275	6.275
30045-2		3.200	6.7	3.0	179.447	90.0	5.549	5.549
30046	沼越峠断層	5.100	6.8	3.0	205.899	90.0	16.520	15.000
30047	吉野屋断層	4.800	6.6	3.0	229.728	90.0	11.517	11.517
30048	悠久山断層帯	5.800	7.1	3.0	212.324	90.0	21.940	15.000
30049	常楽寺断層	3.500	6.6	3.0	197.556	90.0	9.705	9.705
30050	大佐渡西岸断層帯	11.100	6.7	3.0	218.377	90.0	14.138	14.138
30051	国中平野南断層	1.600	6.5	3.0	224.777	90.0	10.408	10.408
30052	六日町断層帯	3.800	7.1	3.0	204.838	90.0	24.496	15.000
30053	平滝一伏野峠断層	3.200	6.5	3.0	109.598	90.0	11.024	11.024
30054-1	高田平野東縁断層帯	0.800	6.7	3.0	238.120	90.0	3.493	3.493
30054-2		0.800	6.7	3.0	195.062	90.0	5.742	5.742
30054-3		0.800	6.7	3.0	247.551	90.0	4.817	4.817
30055	高田平野西縁断層帯	11.900	6.8	3.0	174.436	90.0	14.868	14.868
30056	戸隠山断層	3.500	6.6	3.0	228.674	90.0	13.929	13.929
30057	常念岳東断層帯	22.200	7.2	3.0	174.251	90.0	27.898	15.000
30058-1	黒菱山断層帯	2.200	7.2	3.0	237.905	90.0	13.996	13.996
30058-2		2.200	7.2	3.0	189.994	90.0	16.906	15.000
30059	早乙女岳断層	12.700	6.8	3.0	230.195	90.0	17.409	15.000
30060	能都断層帯	5.700	6.9	3.0	215.460	90.0	20.419	15.000
30061-1	霧ヶ峰断層帯	1.600	7.0	3.0	112.468	90.0	19.466	15.000
30061-2		1.600	7.0	3.0	180.078	90.0	3.698	3.698
30062-1	鴨川低地断層帯北断層	10.000	6.8	3.0	269.938	90.0	7.595	7.595
30062-2		10.000	6.8	3.0	103.667	90.0	7.816	7.816

付表-3 主要98活断層以外の活断層 (2)

コード	断層名	平均活動間隔 μ	マグニチュード M	深さ d (km)	方向 θ (°)	傾き δ (°)	長さ L (km)	幅 W (km)
30063	越生断層	22,000	6.7	3.0	161.100	90.0	13.707	13.707
30064	鶴川断層	47,300	7.2	3.0	124.326	90.0	29.305	15.000
30065-1	扇山断層	16,700	7.0	3.0	247.473	90.0	9.784	9.784
30065-2		16,700	7.0	3.0	111.928	90.0	4.892	4.892
30065-3	扇山断層	16,700	7.0	3.0	238.282	90.0	7.082	7.082
30066	玄倉一塩沢断層	5,100	6.8	3.0	227.960	90.0	16.425	15.000
30067	秦野断層帯	0,700	6.7	3.0	90.381	90.0	13.632	13.632
30068-1	甲府盆地南縁断層帯	3,000	7.5	3.0	225.428	90.0	21.130	15.000
30068-2		3,000	7.5	3.0	249.792	90.0	16.093	15.000
30069	丹那断層帯南端群	5,600	6.7	3.0	120.963	90.0	14.250	14.250
30070-1	達磨山断層帯	2,900	6.6	3.0	179.819	90.0	7.395	7.395
30070-2		2,900	6.6	3.0	140.339	90.0	2.395	2.395
30071	石廊崎断層	2,200	6.7	3.0	130.649	90.0	14.138	14.138
30072-1	日本平断層帯	4,800	6.6	3.0	231.000	90.0	5.873	5.873
30072-2		4,800	6.6	3.0	180.029	90.0	5.546	5.546
30073	畑薙山断層	22,000	6.7	3.0	199.530	90.0	13.715	13.715
30074	中央構造線赤石山地西縁断層帯	16,500	7.7	3.0	201.052	90.0	51.394	15.000
30075	下伊那竜東断層帯	8,600	7.2	3.0	207.073	90.0	26.909	15.000
30076	平岡断層	15,900	7.0	3.0	236.753	90.0	20.031	15.000
30077	新野断層	10,300	6.7	3.0	209.091	90.0	12.643	12.643
30078	鈴ヶ沢断層	3,200	6.5	3.0	116.457	90.0	8.432	8.432
30079	白巢峠断層帯	1,600	6.5	3.0	219.087	90.0	11.457	11.457
30080	若栃峠断層	4,400	6.7	3.0	208.399	90.0	12.623	12.623
30081	久野川断層	4,800	6.8	3.0	235.695	90.0	16.421	15.000
30082	古川断層帯(戸市川断層)	27,000	6.8	3.0	230.609	90.0	17.462	15.000
30083	口有道一山之口断層	33,800	7.0	3.0	229.175	90.0	19.829	15.000
30084-1	屏風山断層南西部残り	80,000	6.8	3.0	230.731	90.0	11.712	11.712
30084-2		80,000	6.8	3.0	208.568	90.0	6.320	6.320
30085	笠原断層	12,700	6.8	3.0	102.507	90.0	17.080	15.000
30086-1	華立断層	7,900	6.5	3.0	121.466	90.0	3.549	3.549
30086-2		7,900	6.5	3.0	140.715	90.0	4.780	4.780
30087-1	深溝断層帯	3,500	6.6	3.0	90.019	90.0	9.147	9.147
30087-2		3,500	6.6	3.0	179.990	90.0	1.849	1.849
30088	名古屋市付近断層	8,700	6.6	3.0	157.805	90.0	11.992	11.992
30089	天白川口断層	150,000	6.7	3.0	238.860	90.0	10.677	10.677
30090	眉丈山断層帯	5,400	6.9	3.0	235.481	90.0	16.244	15.000
30091-1	谷汲木知原断層	2,000	6.8	3.0	100.235	90.0	10.742	10.742
30091-2		2,000	6.8	3.0	90.276	90.0	4.536	4.536
30092	池田山断層	5,100	6.8	3.0	165.079	90.0	17.248	15.000
30093	津島断層帯	9,800	7.3	3.0	156.616	90.0	30.274	15.000
30094	鈴鹿冲断層	4,100	6.7	3.0	219.103	90.0	11.979	11.979
30095	養老山地西縁断層帯	6,000	7.0	3.0	159.368	90.0	46.758	15.000
30096	宝慶寺断層	13,500	6.9	3.0	252.608	90.0	18.887	15.000
30097	金草岳断層帯	2,600	6.5	3.0	227.196	90.0	8.192	8.192
30098	奥川並断層	10,300	6.7	3.0	117.550	90.0	11.936	11.936
30099	更毛断層	9,500	6.6	3.0	245.151	90.0	13.234	13.234
30100	宝泉寺断層帯	13,500	6.9	3.0	174.774	90.0	16.708	15.000
30101	美浜湾冲断層	69,500	7.0	3.0	230.764	90.0	5.839	5.839
30102	耳川断層帯	3,500	6.6	3.0	171.571	90.0	20.560	15.000
30103	琵琶湖東岸湖底断層	3,800	6.6	3.0	145.553	90.0	13.430	13.430
30104	熊川断層帯	8,700	6.6	3.0	107.041	90.0	12.659	12.659
30105	琵琶湖南部湖底断層	4,400	6.7	3.0	121.318	90.0	14.219	14.219
30106-1	大鳥居断層帯	40,600	7.1	3.0	168.309	90.0	7.549	7.549
30106-2		40,600	7.1	3.0	223.805	90.0	15.380	15.000
30107-1	鈴鹿坂下断層帯	7,900	6.8	3.0	101.197	90.0	9.324	9.324
30107-2		7,900	6.8	3.0	111.835	90.0	4.928	4.928
30108	経ヶ峯南断層	3,200	6.5	3.0	99.614	90.0	10.840	10.840
30109	中央構造線多気	33,800	7.0	3.0	259.184	90.0	20.251	15.000
30110	家城断層帯	27,000	6.8	3.0	210.405	90.0	15.030	15.000
30111	名張断層帯	49,000	7.3	3.0	233.952	90.0	28.325	15.000
30112-1	信楽断層帯	5,100	6.8	3.0	202.340	90.0	11.996	11.996
30112-2		5,100	6.8	3.0	231.025	90.0	5.881	5.881
30113	和東谷断層	4,400	6.7	3.0	229.170	90.0	14.122	14.122
30114	田原断層	16,900	6.5	3.0	189.408	90.0	9.368	9.368
30115	あやめ池撓曲帯	4,000	6.8	3.0	180.114	90.0	14.788	14.788
30116-1	京阪奈丘陵撓曲帯	7,600	7.1	3.0	191.808	90.0	22.651	15.000
30116-2		7,600	7.1	3.0	90.165	90.0	4.587	4.587
30117-1	羽曳野断層帯	4,800	6.8	3.0	180.217	90.0	5.546	5.546
30117-2		4,800	6.8	3.0	213.771	90.0	11.088	11.088
30118	和泉北嶺断層帯	27,000	6.8	3.0	250.429	90.0	16.299	15.000
30119	中央構造線五条	60,800	7.4	3.0	252.648	90.0	36.963	15.000
30120-1	埴生断層	5,100	6.8	3.0	90.330	90.0	10.644	10.644
30120-2		5,100	6.8	3.0	129.302	90.0	5.873	5.873

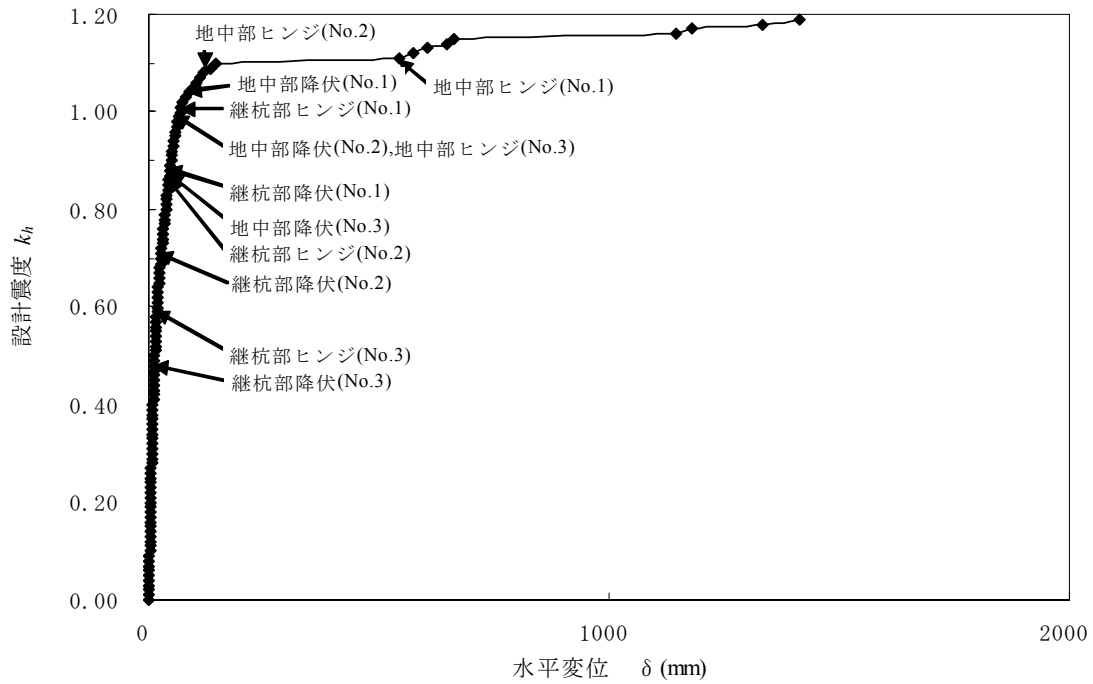
付表-3 主要 98 活断層以外の活断層 (3)

コード	断層名	平均活動間隔 μ	マグニチュード M	深さ d (km)	方向 θ (°)	傾き δ (°)	長さ L (km)	幅 W (km)
30121	中山断層帯	29,100	6.6	3.0	90.515	90.0	12.070	12.070
30122	三岳山断層	33,100	6.5	3.0	206.720	90.0	10.301	10.301
30123	御所谷断層帯	9,200	7.3	3.0	238.262	90.0	28.485	15.000
30124	高塚山断層	3,800	6.6	3.0	179.573	90.0	12.940	12.940
30125	志筑断層帯	7,900	6.5	3.0	161.352	90.0	9.737	9.737
30126	飯山寺断層帯	23,700	6.7	3.0	179.775	90.0	14.788	14.788
30127	養父断層帯	6,700	7.0	3.0	104.386	90.0	21.921	15.000
30128	明延北方断層	20,300	6.6	3.0	254.639	90.0	14.135	14.135
30129	引原断層	16,900	6.5	3.0	189.190	90.0	9.367	9.367
30130-1	雨滝一釜戸断層	49,600	6.8	3.0	114.599	90.0	13.309	13.309
30130-2		49,600	6.8	3.0	238.493	90.0	3.545	3.545
30131	岩坪断層帯(鹿野断層)	34,400	6.7	3.0	254.927	90.0	14.108	14.108
30132	岩坪断層帯(岩坪断層)	21,200	6.3	3.0	90.140	90.0	7.570	7.570
30133-1	鹿島断層帯	14,300	6.9	3.0	269.482	90.0	13.605	13.605
30133-2		14,300	6.9	3.0	201.663	90.0	3.995	3.995
30134	芳井断層	1,500	6.6	3.0	231.628	90.0	11.780	11.780
30135	福山断層帯	36,400	6.6	3.0	238.169	90.0	10.728	10.728
30136	御町断層	33,100	6.5	3.0	225.420	90.0	10.641	10.641
30137	庄原断層	16,900	6.5	3.0	197.737	90.0	9.733	9.733
30138-1	三次断層帯	18,600	6.6	3.0	219.065	90.0	4.793	4.793
30138-2		18,600	6.6	3.0	269.577	90.0	4.575	4.575
30139	上根断層	4,800	6.8	3.0	219.371	90.0	14.394	14.394
30140	筒賀断層帯	12,700	6.8	3.0	227.782	90.0	16.518	15.000
30141	弥栄断層帯	124,400	7.6	3.0	226.666	90.0	48.405	15.000
30142	大原湖断層	2,500	6.8	3.0	231.531	90.0	17.713	15.000
30143	洪水断層	53,000	6.8	3.0	207.973	90.0	16.661	15.000
30144	徳島平野南縁断層帯	4,100	6.7	3.0	269.496	90.0	12.312	12.312
30145	鮎喰川断層帯	92,700	7.2	3.0	250.102	90.0	27.773	15.000
30146	江畑断層帯	72,800	7.1	3.0	244.997	90.0	22.024	15.000
30147	高縄山北断層	49,600	6.8	3.0	246.119	90.0	13.514	13.514
30148	綱付森断層	3,500	6.6	3.0	242.643	90.0	12.162	12.162
30149	安田断層	76,100	7.1	3.0	206.384	90.0	20.686	15.000
30150	行当岬断層	5,400	6.9	3.0	205.722	90.0	24.696	15.000
30151	高知吾川	17,500	7.1	3.0	245.397	90.0	22.122	15.000
30152	宿毛一中村断層帯	86,100	7.2	3.0	253.886	90.0	26.008	15.000
30153-1	土佐清水北断層帯	33,100	6.5	3.0	90.347	90.0	4.684	4.684
30153-2		33,100	6.5	3.0	220.513	90.0	4.838	4.838
30154	小倉東断層帯	31,800	6.6	3.0	202.717	90.0	12.017	12.017
30155-1	福知山断層帯	23,000	7.3	3.0	174.189	90.0	14.867	14.867
30155-2		23,000	7.3	3.0	154.593	90.0	14.337	14.337
30156	警固断層帯	15,100	7.0	3.0	136.542	90.0	17.911	15.000
30157	佐賀関断層帯	20,300	6.6	3.0	253.013	90.0	12.971	12.971
30158	福良木断層	33,100	6.5	3.0	224.907	90.0	13.141	13.141
30159	多々良岳南西麓断層帯	25,400	6.8	3.0	145.695	90.0	22.298	15.000
30160	阿蘇外輪南麓断層群	29,800	6.8	3.0	257.810	90.0	17.574	15.000
30161	緑川断層帯	8,300	7.2	3.0	257.498	90.0	25.627	15.000
30162-1	鶴木場断層帯	36,400	6.6	3.0	90.148	90.0	4.700	4.700
30162-2		36,400	6.6	3.0	228.614	90.0	8.366	8.366
30163-1	国見岳断層帯	43,000	6.7	3.0	90.121	90.0	1.567	1.567
30163-2		43,000	6.7	3.0	239.560	90.0	10.913	10.913
30164	川南一征矢原断層	4,400	6.7	3.0	215.030	90.0	13.587	13.587
30165-1	人吉盆地断層帯	8,700	7.1	3.0	248.675	90.0	10.130	10.130
30165-2		8,700	7.1	3.0	231.919	90.0	11.979	11.979
30166	水俣断層帯	16,900	6.5	3.0	225.932	90.0	13.204	13.204
30167	長島断層群	25,400	6.8	3.0	175.037	90.0	16.705	15.000
30168-1	鹿児島湾東縁断層帯	5,400	6.9	3.0	209.818	90.0	12.764	12.764
30168-2		5,400	6.9	3.0	164.178	90.0	5.764	5.764
30169	鹿児島湾西縁断層帯	49,600	6.8	3.0	216.490	90.0	16.042	15.000
30170	市田断層帯	76,100	7.1	3.0	257.156	90.0	24.325	15.000
30171	池田湖西断層帯	0,800	6.5	3.0	220.910	90.0	9.744	9.744
30172	種子島北部断層帯	5,600	6.7	3.0	134.760	90.0	15.738	15.000
30173-1	屋久島南岸断層帯	4,800	6.9	3.0	90.243	90.0	9.624	9.624
30173-2		4,800	6.9	3.0	229.376	90.0	8.477	8.477
30174	喜界島断層帯	1,100	6.7	3.0	207.789	90.0	24.942	15.000
30175	沖永良部島断層帯	4,100	6.7	3.0	258.939	90.0	37.037	15.000
30176	金武湾西岸断層帯	3,500	6.6	3.0	147.069	90.0	15.371	15.000
30177	宮古島断層帯	9,200	7.3	3.0	130.146	90.0	31.136	15.000
30178	与那国島断層帯	3,500	6.6	3.0	90.414	90.0	6.760	6.760

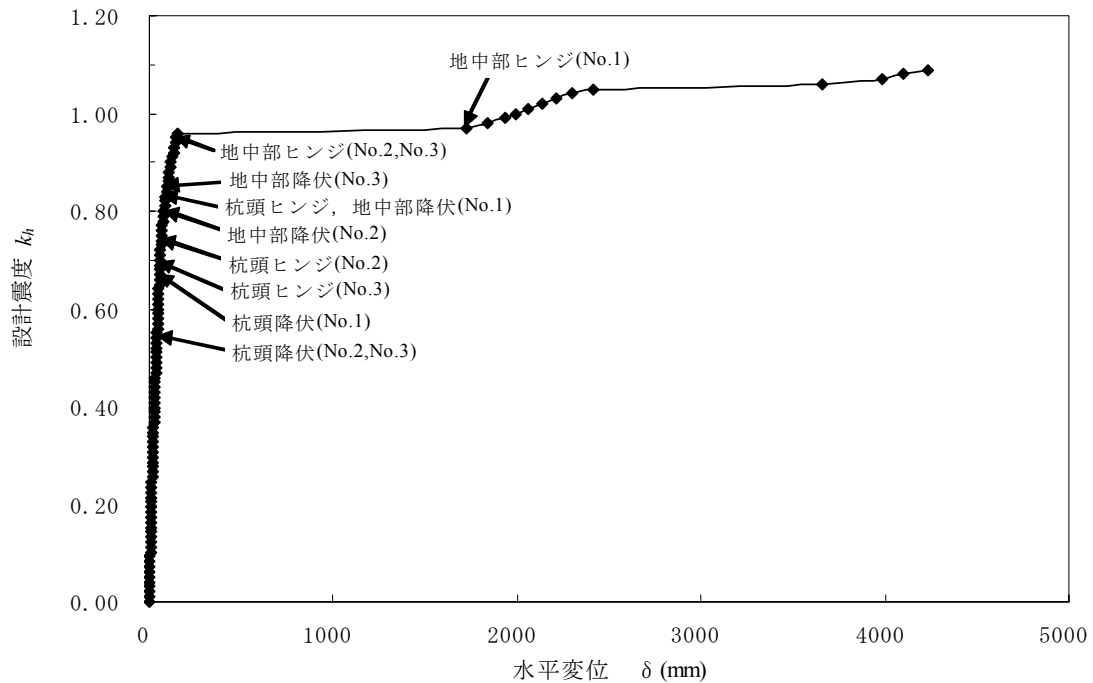
付表-4 海溝型地震

地震番号	地震名	最新活動時期 (西暦)	平均活動 間隔 μ	活動間隔 のばらつ き α	マグニチュード M	深さ d (km)	方向 $\theta (^{\circ})$	傾き $\delta (^{\circ})$	長さ L (km)	幅 W (km)
EQ32	南海地震	1,946	90.1	0.20	8.0	2.3	260.000	22.0	122.000	38.0
		1,946	90.1	0.20	8.0	2.3	261.000	22.0	129.000	54.0
EQ30	東南海地震	1,944	86.4	0.20	7.9	0.0	225.000	30.0	154.000	67.0
		1,944	86.4	0.20	7.9	0.0	225.000	30.0	84.000	78.0
EQ7	想定東海地震	1,854	118.8	0.20	8.4	3.0	245.000	24.0	150.000	100.0
		1,854	118.8	0.20	8.4	2.0	198.000	34.0	115.000	70.0
EQ82	宮城県沖地震	1,978	37.1	0.18	7.4	23.0	160.000	20.0	37.000	34.0
		1,978	37.1	0.18	7.4	38.0	190.000	20.0	24.000	34.0
EQ13	三陸沖南部海溝よりの地震	1,897	104.5	0.22	7.7	1.0	205.000	20.0	120.000	30.0
EQ54	三陸沖北部のプレート間大地震	1,968	97.0	0.18	6.7	14.0	217.000	14.0	16.200	19.1
EQ85	茨城県沖のプレート間地震	---	15.5	---	7.0	10.0	190.000	9.0	20.000	30.0
EQ34	十勝沖の地震	2,003	72.2	0.28	8.2	0.0	220.000	20.0	130.000	100.0
EQ72	根室沖の地震	1,973	72.2	0.28	7.4	2.3	230.000	27.0	60.000	100.0
EQ65	色丹島沖の地震	1,969	72.2	0.28	7.8	0.0	220.000	16.0	180.000	85.0
EQ41	択捉島沖の地震	1,963	72.2	0.28	8.1	4.0	223.000	22.0	250.000	150.0
EQ28	北海道西方沖の地震	1,940	2,650.0	0.21	7.5	0.0	347.000	40.0	100.000	35.0
EQ86	青森県西方沖の地震	1,983	950.0	0.21	7.7	0.0	15.000	20.0	35.000	35.0
		1,983	950.0	0.21	7.7	0.0	15.000	20.0	35.000	35.0
		1,983	950.0	0.21	7.7	0.0	345.000	20.0	35.000	35.0
EQ43	新潟県北部沖の地震	1,964	1,000.0	0.21	7.5	0.0	189.000	56.0	80.000	30.0
EQ51	日向灘のプレート間地震	---	200.0	---	7.5	27.0	207.000	17.0	56.000	32.0
EQ69	日向灘のひとまわり小さいプレート間地震	---	200.0	---	6.7	44.0	215.000	10.0	31.000	24.0
EQ14	大正型関東地震	1,923	219.7	0.21	7.9	1.5	285.000	26.0	22.000	45.0
		1,923	219.7	0.21	7.9	1.5	296.000	23.0	63.000	55.0

付録 地震対策を施した栈橋部の地震時破壊過程



付図-1 改良を行った栈橋の破壊過程



付図-2 更新を行った栈橋の破壊過程

港湾空港技術研究所資料 No. 1139

2006. 9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2006) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。