

## 資料 2

第	1	0	回
検		討	会

# 本四連絡橋の海峡部長大橋梁の耐用年数



平成16年8月31日

本州四国連絡橋公団

# 目 次

	頁
1 . 設計条件	
1 - 1 構造規格・考慮した荷重 . . . . .	1
1 - 2 自然条件と設計諸元 . . . . .	2
1 - 3 設計耐用年数 . . . . .	3
2 . 工事の施工管理	
2 - 1 検査項目・方法・指標 . . . . .	3
2 - 2 体 制 . . . . .	4
3 . 維持管理	
3 - 1 管理方針 . . . . .	5
3 - 2 管理指標と目標値 . . . . .	5
3 - 3 点検方法・指標・体制・データ管理 . . . . .	8
3 - 4 点検結果の評価 . . . . .	1 1
4 . 海峡部橋梁の物理的耐用年数の推定	
4 - 1 推定方法 . . . . .	1 2
4 - 2 維持管理（LCC）から推定 . . . . .	1 3
4 - 3 疲労設計から推定 . . . . .	1 4
4 - 4 設計荷重（風・地震）から推定 . . . . .	1 5
4 - 5 まとめ . . . . .	1 6
5 . 資 料（資料 1～5） . . . . .	1 7～2 1

# 1 . 設計条件

## 1 - 1 構造規格・考慮した荷重

本州四国連絡橋は、我が国では前例のない大規模構造物となることから、本州四国連絡橋独自の基準・要領・指針等が30余項目にわたり制定されている。これらの基準等のほとんどは、学識経験者、有識者を交えた技術委員会等の審議を得て、最新の知見に基づき公平に制定したものである。

以下に設計諸元の概略を示す。

### 構造規格

#### ( 道路関係 )

- ・ 構造規格 第1種 第2級 [神戸淡路鳴門自動車道] [瀬戸中央自動車道]  
第1種 第3級 [西瀬戸自動車道]
- ・ 設計速度 100 km/h [神戸淡路鳴門自動車道] [瀬戸中央自動車道]  
80 km/h [西瀬戸自動車道]

#### ( 鉄道関係 ) [神戸淡路鳴門自動車道] [瀬戸中央自動車道]

- ・ 構造規格 在来線、新幹線
- ・ 設計速度 在来線 120 km/h、新幹線 160 km/h 《道路・鉄道併用区間》

### 考慮した荷重

死荷重（構造物の自重）、活荷重（自動車、列車、自転車、歩行者等の荷重）、衝撃（自動車荷重による衝撃）、風荷重、温度変化、地震荷重、支点移動の影響、衝突荷重（自動車・船舶衝突）、架設時の荷重、製作・架設誤差の影響他

## 1 - 2 自然条件と設計諸元

### 【大鳴門橋】

自然条件	海 峡 幅	約 1,300m		
	施工箇所の最大水深	約 5m		
	基礎周辺の最大潮流速	約 8kt		
	基 本 風 速	50m/s		
設計諸元 (概要)	橋 梁 区 分	吊橋		
	形 式	3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋		
	橋 長	1,629m		
	支 間 割	93m+330m+876m+330m		
	設 計 基 準 風 速	補剛桁	73.0m/s	
		塔	82.7m/s	
	設 計 震 度	耐震設計基準(本四)にて照査		
	中央径間中央での路面高さ	海面上 約 63m		
桁 下 高	略最高高潮位上 41m			
上部工 総鋼重	塔	約 8,700ton		
	ケ ー ブ ル	約 12,000ton		
	補 剛 桁	約 33,500ton		
	計	約 54,200ton		

### 【岩黒島橋】

自然条件	海 峡 幅	約 730m		
	施工箇所の最大水深	約 21m		
	基礎周辺の最大潮流速	約 5kt		
	基 本 風 速	43m/s		
設計諸元 (概要)	橋 梁 区 分	斜張橋		
	形 式	3径間連続鋼トラス斜張橋		
	橋 長	790m		
	支 間 割	185m+420m+185m		
	設 計 基 準 風 速	補剛桁	64.4m/s	
		塔	70.5m/s	
	設 計 震 度	耐震設計基準(本四)にて照査		
	中央径間中央での路面高さ	海面上 約 64m		
桁 下 高	略最高高潮位上 41m			
上部工 総鋼重	塔	約 8,800ton		
	ケ ー ブ ル	約 1,900ton		
	補 剛 桁	約 25,000ton		
	計	約 35,700ton		

### 1 - 3 設計耐用年数

設計耐用年数は長大橋を設計するために設定する期間で、本四連絡橋は100年としている。この期間の設定により、自然条件（風、地震）などの外力が決定される。これに耐え得るように構造物の設計が行われている。

- ・本四連絡橋（風） : 再現期間150年（100年非超過確率50%）
- ・一般橋梁（風） : 再現期間100年（50年非超過確率60%）

## 2 . 工事の施工管理

### 【岩黒島橋の例】

#### 2 - 1 検査項目、方法、指標（基準値）

《鋼材》鋼材は支給材。

項目	検査項目	頻度	方法
1 材料	外観形状・寸法	全数	基準値と照合（JIS,HBS）
	ミット（規格証明書）	全数	納入材料と照合（JIS,HBS）
	材料試験	監督員が特に必要と認めた場合	抜き取り品質確認試験他（JIS,HBS）
	保管状況	工場立会時	目視にて保管状況を確認
2 製作	原寸検査	全数	CADデータと承諾図との照合、基準テープ照合、原寸図照査他
	部材検査	全数	工場組立て部材の主要寸法と承諾図との照合、溶接部品質検査他
	仮組立検査	全数	仮組後の主要寸法と承諾図との照合、溶接部品質検査他
	塗装検査	全数	塗料検査、工場塗装の施工状況、塗膜厚検査他
3 架設	施工状況 安全確認	6回/月程度（公団立会）	施工計画書と照合、安全設備・仮設材等の安全確認他
4 完成	出来型検査	全数	完成物の寸法、形状、外観他検査

適用した基準類は、JIS、HBS（Honshu-Shikoku Bridge Standard）、「鋼橋等製作基準」（本四公団）、「鋼橋等塗装基準」（本四公団）、「土木工事共通仕様書」（本四公団）他

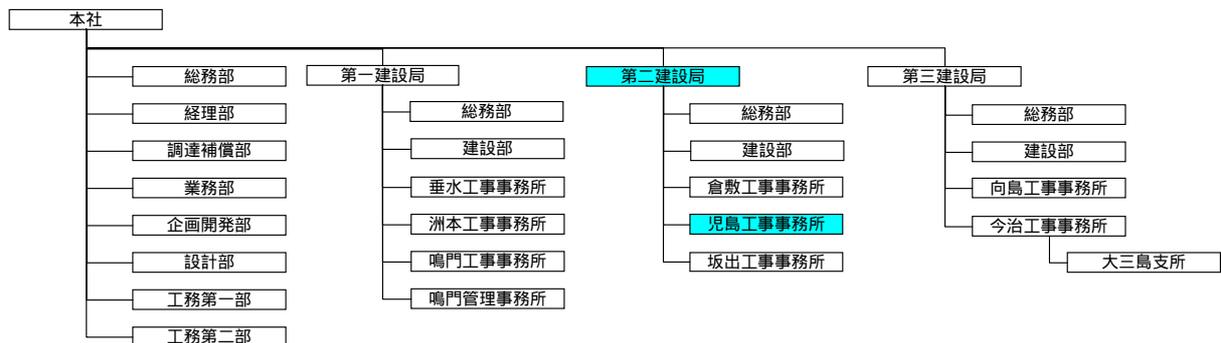
## 2 - 2 体 制

岩黒島橋建設時の施工管理体制（直接担当部署）を以下に示す。

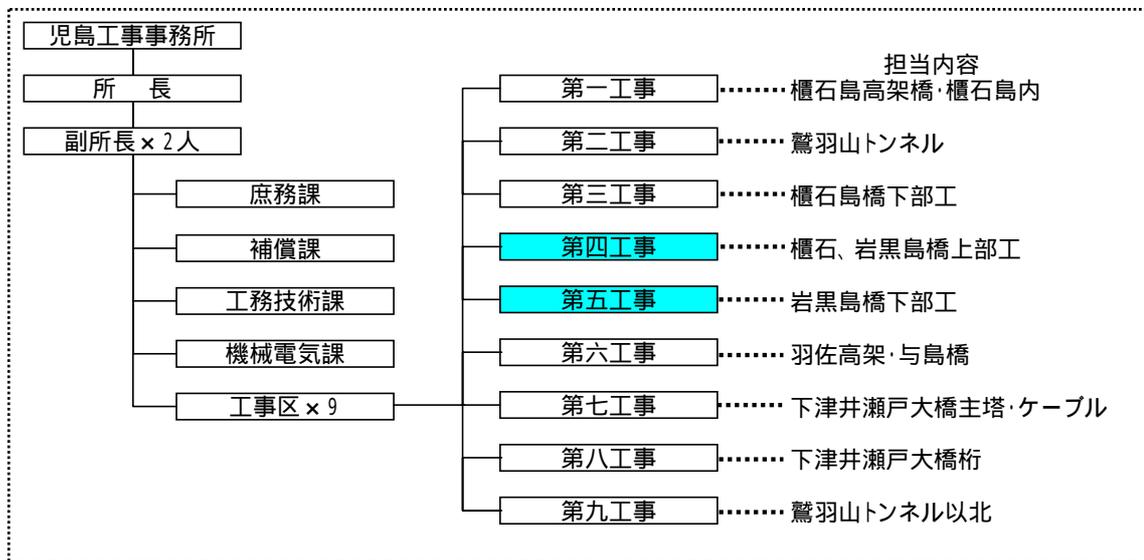
工 種	職 員 数	施工管理員（委託）	備 考
下部工	5 名	4 名	昭和 5 9 年
上部工	6 名	3 名	昭和 6 0 年

### 《組織表》

上部工架設時の組織図。



公団全体組織図



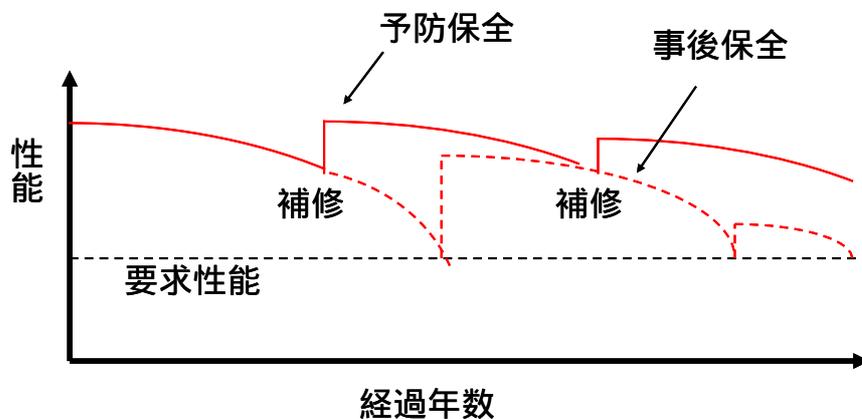
担当工事事務所の組織図

### 3 . 維持管理

#### 3 - 1 管理方針

維持管理方法には予防保全と事後保全があるが、長大橋の管理は前者で実施している。

- ・ 予防保全：構造物に性能低下を引起させないことを目的に実施する保全。  
劣化初期段階で補修を行うことにより、経済的に長寿命化できる。
- ・ 事後保全：構造物の性能低下の程度に応じて実施する保全。  
(一般的に採用されている保全)



一般的な構造物の寿命の概念

#### 3 - 2 管理指標と目標値

##### ・ 塗装《精密点検》

本四の海峡部橋梁の塗装は、厚膜型無機ジンクリッチペイントを下地とした重防食塗装を採用している。このジンクリッチペイントは、長期的な防錆効果はあるものの、現地での補修は、ブラスト処理(一種ケレン) 厳重な



海峡部橋梁の塗装構成

温湿度管理が必要となり、多額のコストを要するとともに施工上解決すべき問題が多くある。そのために本四公団では、定期的に膜厚を測定し、下塗りが損耗を開始する以前に中塗り・上塗りの塗替えを完了する管理を行っている。

# 海峡部橋梁における塗装の管理

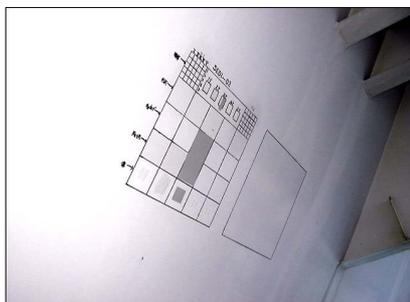
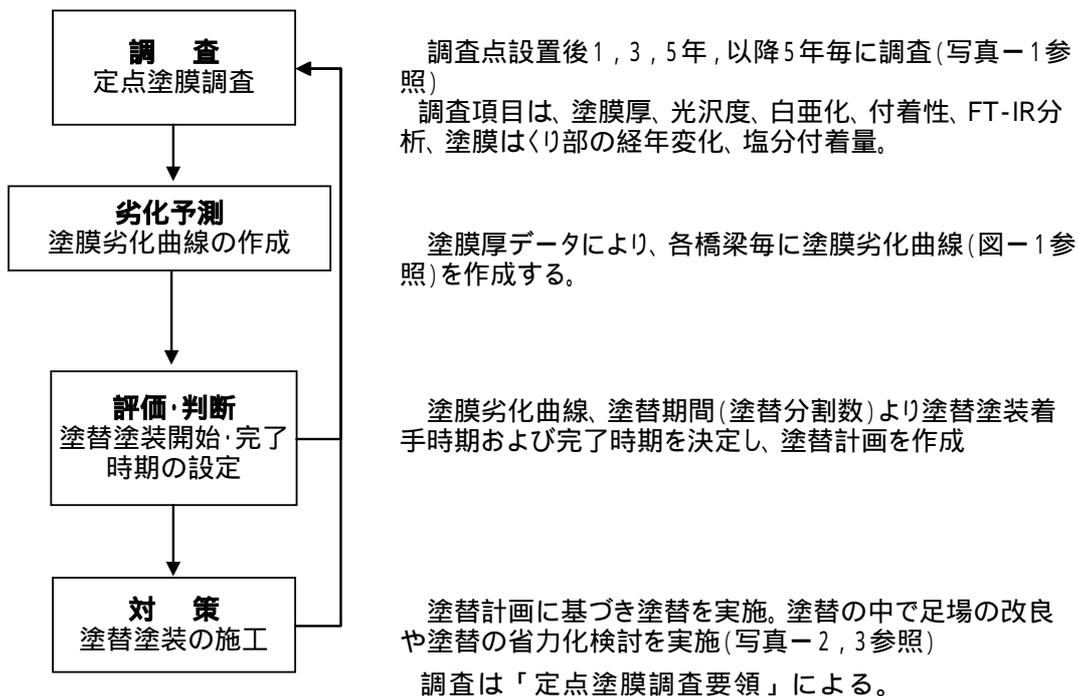


写真 - 1 塗膜調査用定点

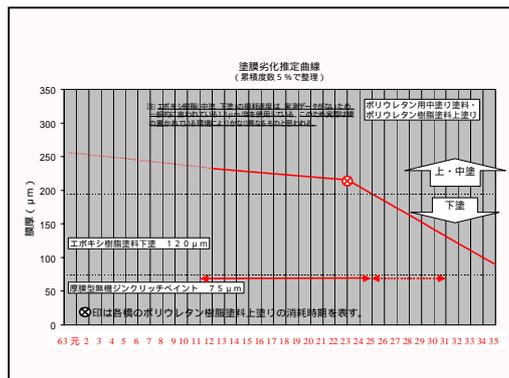


図 - 1 塗膜劣化曲線の例

## ・コンクリート構造物《基本点検》

海峡部にかかるコンクリート構造物は、非常に塩害環境の厳しい箇所に位置している。このため本四では、定期点検にコンクリート非破壊検査を導入し中性化進行速度、塩分の侵入量等を把握し、塩害については鉄筋位置で塩化物イオン濃度  $1.2\text{kg/m}^3$  を管理値として向こう100年間の劣化予測を行っている。劣化予測結果から最適な時期に最適な対策を行う予防保全の考えに基づき、維持管理の低減、長寿命化を図っている。



写真 - 1 コンクリート調査状況

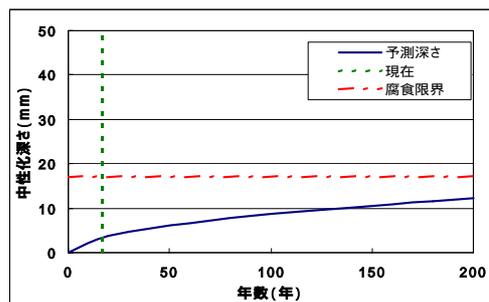


図 - 1 中性化進行予測例

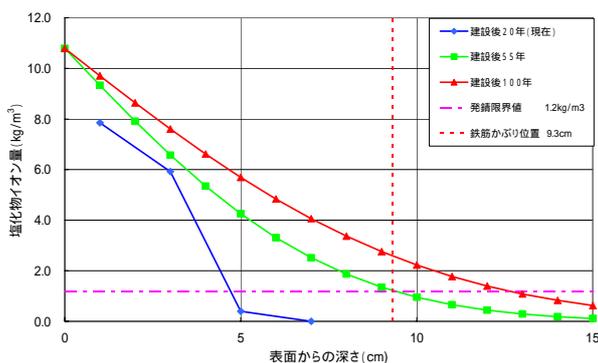


図 - 2 塩化物イオンの浸透予測例



写真 - 2 表面処理による補修事例

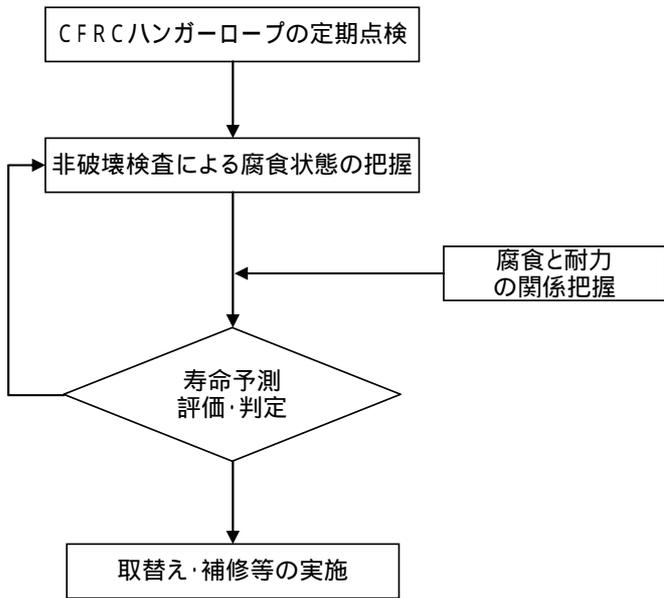
## ・吊橋ハンガーロープ《精密点検》

吊橋の補剛桁を支えるハンガーロープは、垂鉛めっきを行った複数の鋼線（素線）を撚って製作され、さらに、ロープ表面には樹脂系の塗装が施されている。しかし、ロープが鉛直に長く飛来塩分を含んだ雨水がロープに沿って流下するため、腐食環境が非常に厳しい部材である。

このため、本四公団は、外観点検では困難なロープ内部の腐食の程度を非破壊で検査する手法を開発、腐食による断面減少と引張耐力の低下の関係を把握し、安全率（3.0）を下回る時期を予測している。

一方、ハンガーロープの延命策としては、ロープ全長の内、最も腐食が進んでいるロープ下端（桁定着部）の部分取替えおよび局部防食対策等の検討を現在実施中である。

# 吊橋ハンガーロープの管理



点検員が行った定期点検の結果から非破壊検査の要否を公団職員が判断する。

確立した非破壊検査(全磁束法)により、ハンガーロープの腐食状態の把握を行う。また、一部開放調査を行い非破壊検査との対比を行う。(写真 - 1, 2参照)

ハンガーロープの腐食による断面減少と強度の関係把握する。(図 - 1参照)

非破壊検査等より得られた腐食率から残存耐力を求め、寿命を予測し、補修に対する評価・判定を行う。

点検頻度は必要に応じて行う。



写真 - 1 非破壊検査



写真 - 2 開放調査

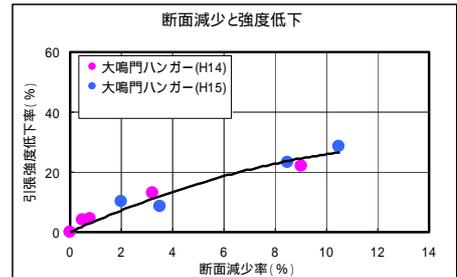


図 - 1 ロープの断面減少率と引張強度低下率との関係 (参考)

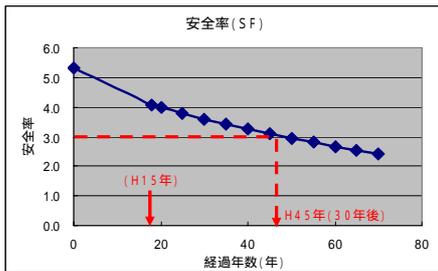


図 - 2 経過年数と安全率の関係

## 3 - 3 点検方法、指標、体制、データ管理

### 点検方法 (点検管理要領から抜粋)

#### ・ 定期点検

##### a . 巡回点検

橋体にあらかじめ設置された管理用通路その他これに類する部分等 (以下

「管理路等」という。)を利用して目視により点検(以下「目視点検」という。)し、橋体の状況を把握し、利用者および第三者に対し影響を与える橋体の変状を早期に発見することを目的とした点検。なお、各部位における点検頻度を資料 - 1 に示す。

#### b . 基本点検

橋体の要求性能を把握し、性能低下の原因となる変状を評価し、補修の要否を判定する目的で管理路等および点検補修用作業車により橋体全体の各部材にできるだけ接近し、目視、触指、打音および非破壊検査により橋体細部の変状を把握し、橋体の健全性を評価することを目的とした点検。

#### c . 精密点検

橋体全体の安全性能及び使用性能に重大な影響を及ぼすと考えられる項目に対して計器による高度な測定を主体に、橋体全体の健全性評価の資料を得ることを目的とした点検。点検頻度は、初めて行う点検を1年目とし、1、3、5年目および以降5年毎あるいは10年毎に行う。

### . 不定期点検

#### a . 異常時点検

地震、降雨、強風等により、災害発生の恐れがある場合、または災害が発生した場合に実施する点検。

#### b . 臨時点検

巡回点検、基本点検、精密点検及び異常時点検とは別に、必要に応じて行う臨時の点検で、次に掲げるものをいう。

巡回点検、基本点検及び精密点検で発見された変状について行う追跡のための点検。

その他必要に応じて行う点検。

## 指標（「点検管理要領」から抜粋）

### 変状の判定基準（構造系）

判定	変状の状況
A	変状が著しく、安全性能または使用性能から見て、緊急補修の必要がある場合。
B	変状があり、安全性能または使用性能の低下が見られ補修が必要であるが、緊急性を要しない場合。または、調査が必要な場合。
C	変状はあるが、安全性能または使用性能の低下は見られない。変状の進行状況を継続的に観察するか、または、詳細調査を実施する必要がある場合。
D	変状がないか、もしくは軽微な場合。
Q	変状の有無・程度の判定が困難で、別の手法により再点検する必要がある場合。
E	第三者に対し安全を損なう交通または被害を及ぼす恐れがあり、緊急補修の必要がある場合。

## 点検体制

点検業務は外部委託している。点検は、基本的に1チーム2名の点検員（技術者）で実施している。また、基本点検・精密点検については別途の体制で行っている。点検員は、本四長大橋の点検業務等の経験者を有するものとしている。

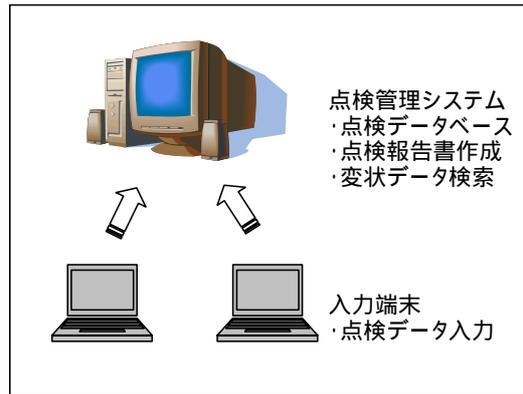
なお、点検用補修作業車を用いる場合は、1チーム3名以上の点検員で実施する。

この点検結果は、直ちに監督員に報告され、公団職員が点検結果を評価し、現場の確認を行うとともに、必要に応じ補修計画を立案する。

## データ管理

各橋梁の点検データは点検者、日時、変状部位、変状状況等の約40項目をパソコンに入力し、検索によって、変状ランク集計、点検状況確認、補修状況確認等が可能である。これらのデータは、補修、修理を行う上で、優先順位、概算金額算定等に活用されている。

平成14年末までに本四全体で約22千件のデータを蓄積している。大鳴門橋を例にとると昭和63年4月～平成16年3月までの変状は860件であり、これら変状は全て番号が付されている。



点検管理システム

### 3 - 4 点検結果の評価

点検等の基本方針は、本四公団において有識者で構成される「本州四国連絡橋公団 技術委員会」において審議をいただき、反映させている。

点検結果は、毎年1回開催される本四公団内の「健全度評価委員会」に報告され、各橋梁の健全度が評価されるとともに、今後の補修計画及び点検方法・体制が審議され、翌年度の補修計画に反映される。

## 4 . 海峡部長大橋の物理的耐用年数の推定

### 4 - 1 推定方法

海峡部長大橋の物理的耐用年数について以下に示す3つの側面から試算を行った。

#### 維持管理（LCC）から推定

橋の管理費は建設後、25～30年間まで増加を続け、その後は定常もしくは微増状態になると考えられる。そこで橋を架替えた場合に要する再建設費と、架替えによって得られる管理費の節減額との関係から耐用年数を推定する。

#### 疲労設計から推定

本四連絡橋の児島・坂出ルート（瀬戸大橋）は道路・鉄道併用橋であり、設計には鉄道による繰り返し荷重を考慮した疲労設計がおこなわれている。

設計に考慮した100年間の列車荷重と現在までの列車通過履歴及び今後の通過本数を積算して、設計条件に到達する時点をも耐用年数としその時期を推定する。

#### 設計荷重（風・地震）から推定

本四連絡橋の長大橋は設計耐用期間として100年を設定し、この100年間における非超過確率50%に相当する再現期間150年の風荷重により設計が行われている。

そこで非超過確率50%を前提に設計耐用期間を200年以上とした場合の風の再現期間を求め、この外力による構造物に発生する応力から耐用年数を推定する。

## 4 - 2 維持管理（LCC）から推定

維持管理費の長期試算は、1000m級吊橋の代表として大鳴門橋、また道路鉄道併用橋及び形式が異なる（斜張橋型式）岩黒島橋の2橋を例に行った。

それぞれの橋梁の一般図、橋梁諸元を資料 - 2 に示す。

維持管理費は、点検、塗装、舗装、ハンガーロープ、伸縮装置、鋼床版縦桁支承、船舶緩衝工、コンクリート構造物、その他構造物、送気設備などについて現在まで得られている知見及び知見にもとづく推定を行ない、それぞれの項目について管理費の積上げを行った。

この結果、大鳴門橋においては当初から100年間の管理費は建設費の約45%となっており、また岩黒島橋においては約40%となっている。

大鳴門橋において架替えを行った場合に得られる管理費のメリットは資料 - 3 に示す要領により求め、同様な方法により橋の更新時期をパラメータに、更新により得られる管理費のメリットの関係図を作成し耐用年数の推定を行なった。

試算は以下に示す条件を設定し、2ケースについて行なった。

ケース1：更新費は当初建設費の3.0倍を想定。

更新後の管理費は旧橋と同等。

ケース2：更新費は当初建設費の2.5倍を想定（技術の進展を考慮）。

更新後の管理費は箱桁タイプの吊橋を想定。

以上の試算の結果、大鳴門橋における維持管理面からの耐用年数は470年～570年と推定される。

また岩黒島橋においては、440年と推定される。

この結果は橋の長期管理費と再建設費の予測に多少のバラツキがあっても、橋を高い管理水準で維持管理する方がはるかに有利であることを示している。

## 4 - 3 疲労設計から推定

### (1) 主構造部材について

本四連絡橋の道鉄併用橋では、構造物の長大化に伴い調質高張力鋼（HT690，HT780など）を多量に使用していること、また列車走行による活荷重応力の割合が高いことから疲労対策が課題であった。

このため大型疲労試験機を開発し、トラス部材を対象とした疲労試験を実施した。その結果から従来の許容応力範囲を見直すこととし、溶接継手形式や材質に応じた許容応力範囲を定め、これ以下となることを照査した。ただし、弦材かど溶接については微小な欠陥が疲労強度を低下させることが判明したため、長年の疲労設計に対する研究成果を全面的に取り入れた溶接設計（Fracture Control Design，破壊安全性設計）を導入し、列車走行により繰り返し作用する疲労応力をすべての部材について算出し、この応力範囲に基づいたかど溶接部の溶接欠陥の許容寸法、溶接仕上げの有無、止端形状などの構造細部を決定した。

瀬戸大橋の橋梁は、すべて耐用年数100年間での列車の通過回数を想定した疲労設計が行われている。

この時の設計寿命曲線を使用し、現時点における列車通過履歴及び今後の予測本数から（Case1：H15年のダイヤ本数，Case2：H15年ダイヤ本数×150%）余寿命を推定すると約440年から約660年となる。（資料 - 4 参照）

なお、製作時の残存欠陥を記録に残し、管理段階で欠陥部を非破壊検査による追跡調査を行い余寿命を推定しているが、H14年度段階では欠陥の進展は確認されていない。

### (2) 床組について

鋼床版の構造は、各橋梁で構造が少しずつ異なっており、また疲労上問題となる溶接継手部の発生応力や疲労強度の評価が困難であり、さらに通行車両の荷重条件もバラツキがあること等から疲労による寿命の推定は現段階では困難である。

従って、点検により早期に変状を発見し、亀裂進展対策などを講じ、鋼床版の機能を保持することになっている。

## 4 - 4 設計荷重（風・地震）から推定

### （１）風荷重について

設計耐用期間 200 年以上とした場合の採用すべき再現期間を求め、これより現在の設計風速（設計耐用期間 100 年）を 1.0 とした場合の風速比を算出した。

なお、設計期間の非超過確率は現在と同様の 0.5 としている。

設計耐用期間（T）	再現期間（R）
100 年	145 年
200 年	289 年
300 年	433 年
400 年	578 年
500 年	722 年

構造物の耐用限界を降伏点強度と引張強度の中間程度と考えると、その時の風の再現期間は約 680 年となり、これより耐用期間を推定すれば 470 年 となる。（資料 - 5 参照）

以上は、静的風荷重に対し耐用期間を推定したものである。これに対し動的風荷重においては、構造物の崩壊に至らしめる発散振動（フラッター）が問題となるが、「風洞試験の技術、設計施工の信頼性ならびに構造物の社会的重要性等を勘案して定めた安全率」を 1.2 として考慮しており、耐用期間は静的風荷重に支配される。

### （２）地震荷重について

本四連絡橋の耐震設計（大鳴門橋、岩黒島橋の設計基準である S52 年 3 月の本四耐震設計基準）は、過去約 80 年間の地震記録をもとに、架橋地点から半径約 150 km の範囲内で 100 年間に 1～2 回発生すると推定されるマグニチュード 8 程度の規模の地震を想定し、地震荷重としている。

しかし、兵庫県南部地震の後、耐震基準が改定されレベル 2（橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動）による照査を実施中である。この照査荷重は、発生する可能性のある最大規模の地震を考慮している。

照査の結果、耐震性能2（地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋として機能の回復が速やかに行える）を確保できない一部の橋梁について順次耐震補強を行う計画である。

以上から、地震荷重から構造物の耐用年数を決めることは困難である。

#### 4 - 5 まとめ

維持管理、疲労設計、設計面から推定される物理的耐用年数をまとめると下表の通りである。

橋名	維持管理	疲労	設計
大鳴門橋	470年～570年	-	470年
岩黒島橋	440年	440年～660年	470年

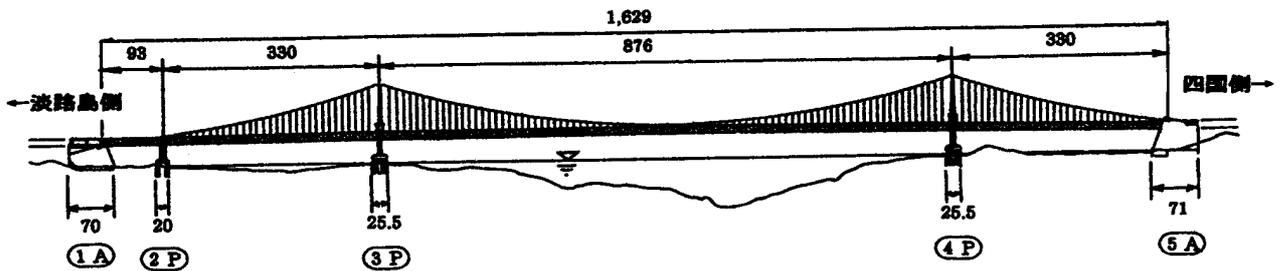
以上の試算には数多くの仮定・推論が入っているが、低めに見積もったとしても物理的耐用年数は200年程度は確保できると考えていたが、耐用年数WG（8月24日開催）において、税法の耐用年数において最長のものが80年であることを踏まえ、さらに保守的に見積り、仮定・推論において人知の及ぶ範囲で物理的耐用年数を100年としてはどうかという委員の意見があり、本四公団としても当該意見を受け、長大橋の耐用年数を100年とすることとした。

分類	部位	細目	巡回点検頻度	基本点検頻度
			頻度	頻度
桁関係	路面周辺	グレーチング	1回 / 3月	
	床組	デッキプレート	1回 / 6月	
		縦リブ		
		縦桁		
		横桁		
		支承	1回 / 3月	
	コンクリート床版		1回 / 6月	
	主構部	上弦材		
		下弦材		
		垂直材		
斜材				
	横構			
箱桁部	ウェブ	1回 / 6月 (内面は基本点検)		
	フランジ			
	ダイヤフラム			
コンクリート桁		1回 / 6月		
伸縮装置	主塔部	1回 / 月		
	橋台部			
	橋脚部			
	鋼床版部			
	その他			
支承	タワーリンク	1回 / 6月 (内面は基本点検)		
	エンドリンク			
	ウィンドシュー			
	その他支承			
塔	塔柱	1回 / 6月 (内面は基本点検)		
	斜材			
	水平材			
	アンカーボルト			
	塔付属物			
ケーブル関係	吊橋ケーブル	ケーブル	-	
		バンド	1回 / 3月	
		ハンガーロープ		
		センターステイ等		
		ハンドロープ		
	その他付属物			
	斜張橋ケーブル	ケーブル	-	
		制振ロープ	1回 / 3月	
	吊橋定着部	アンカレイジ		
		ケーブルソケット		
斜張橋定着部	桁側定着部	-		
	塔側定着部			
	ケーブルソケット			
サドル部	塔頂サドル			
	スプレーサドル			
下部構造	主塔基礎	1回 / 6月		
	ケーソン			
	アンカレイジ			
	橋脚			
	橋台			
下部付属物	締め切り工他			
橋梁付属物	排水装置	本体	1回 / 月	
	管理路	本体		
	耐風安定板			
	添架物		1回 / 6月	
	緩衝工	鋼製		
	作業車レール	レール他		
自歩道				
塗装			-	

過去の点検データ等を考慮のうえ点検対象物ごとに点検頻度を1回 / 1～2年で適宜設定する。

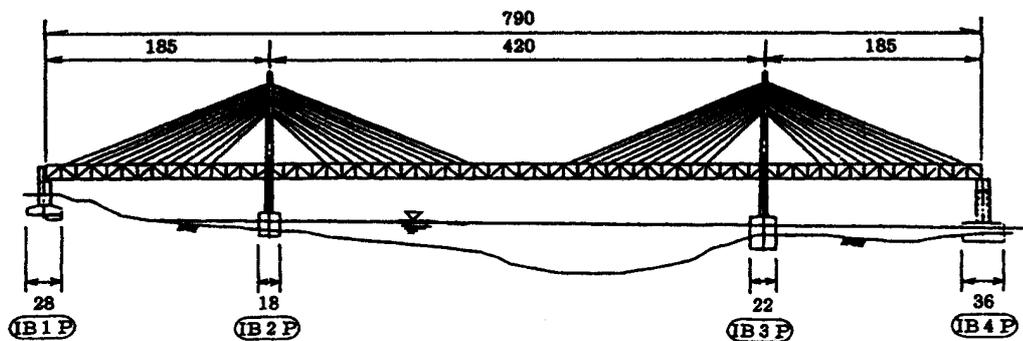
## 大鳴門橋

- 1) 完成年月日 : 1985年6月8日
- 2) 橋梁形式 : 3径間2ヒンジ補剛トラス吊橋
- 3) 支間割 : 93 + 330 + 876 + 330 m
- 4) 幅員 : 30m 【道路4車線供用】
- 5) 建設費 : 1,100億円(平成15年度単価 道路分)

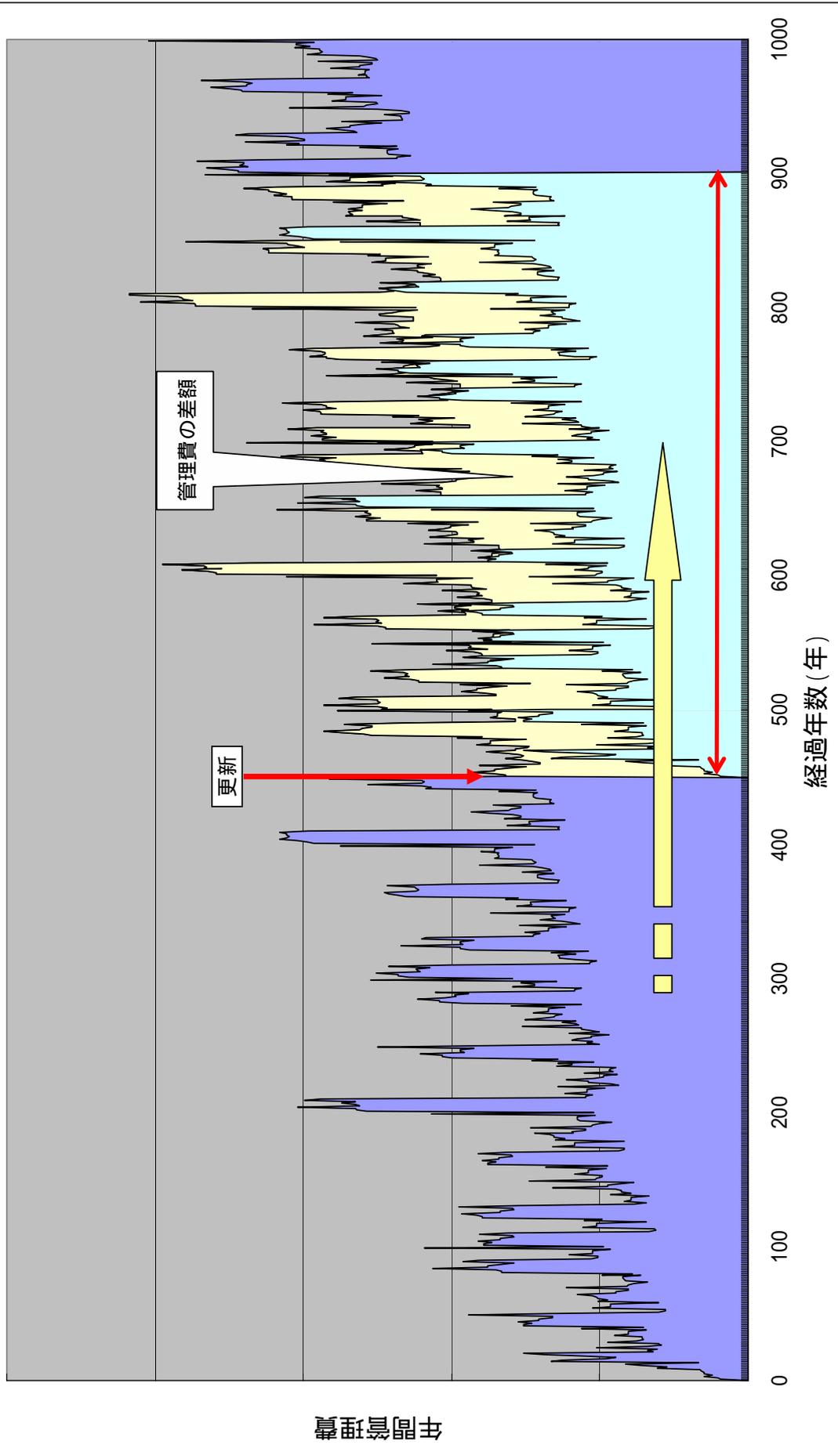


## 岩黒島橋

- 1) 完成年月日 : 1988年4月10日
- 2) 橋梁形式 : 3径間連続鋼トラス斜張橋
- 3) 支間割 : 185 + 420 + 185 m
- 4) 幅員 : 22.5m 【道路鉄道併用橋、道路4車線、鉄道在来線2線供用】
- 5) 建設費 : 350億円(平成15年度単価 道路分)



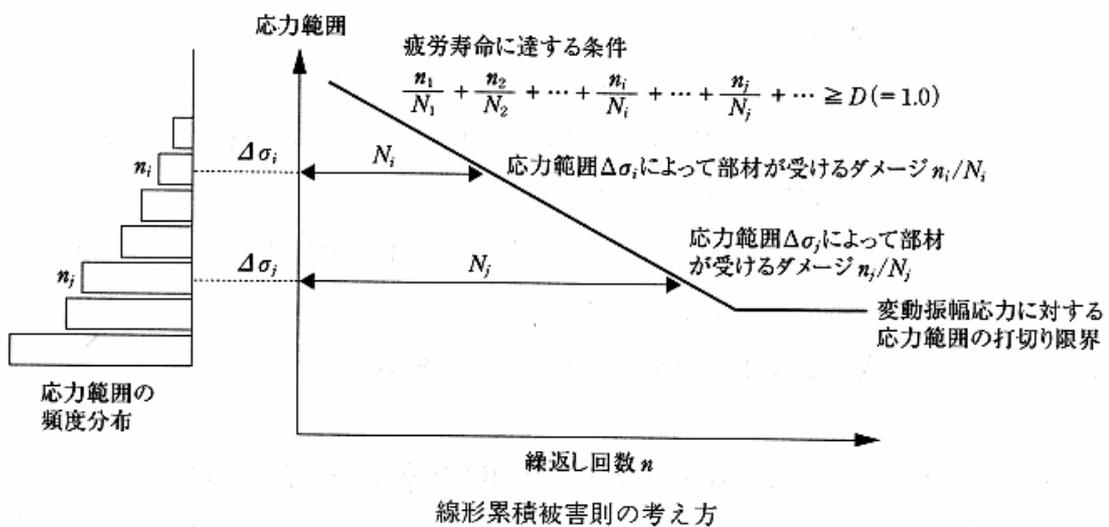
# 大鳴門橋長期管理費(推定試算)



## 列車荷重による疲労寿命予測方法

橋梁などの構造物は、鉄道や自動車走行による荷重の変動により、構成部材に応力が繰返し作用している。変動する応力幅（応力範囲）が小さい場合は繰返し回数をいくら大きくしても損傷に至ることはないが、応力範囲が大きい場合は少ない繰返し回数で亀裂の発生や破断に至ることがある。これを疲労損傷、疲労破壊と呼んでいる。

疲労設計においては、一般に線形累積被害則により疲労損傷度の評価を行っている。



出典：「鋼道路橋の疲労設計指針」日本道路協会

線形累積被害則とは、上図に示すとおり損傷が生じるまでの繰返し数が  $N$  である応力範囲  $\Delta\sigma$  が  $n$  回生じたときの疲労損傷度を  $(n/N)$  と定義した場合、対象部位に対するすべての応力範囲に対する疲労損傷度の合計（累積損傷度）がある値に達したときに疲労破壊に至るとする考え方。

この考え方に基づき設計時に想定した 100 年間の列車走行形態と実績と今後の推定本数から疲労寿命を推定した結果、約 440 年～約 660 年となった。

### 設計時の想定

規 格	頻 度	荷 重
在来線	90 本/日/線	1,100ton
新幹線	14 本/日/線	1,100ton

### 実 績

規 格	頻 度	荷 重
貨物他	4.3 本/日/線	1,050ton
特急他	74 本/日/線	600ton

## 再現期間と設計風速の関係図

・風荷重は風速の2乗に比例する。  
 ・暴風時の許容応力度は、50%増で設計されている。  
 ・鋼材の許容応力度は、降伏点に対し1.7. 引張強度に対しては2.2以上の安全率を有する。  
 上記事項を基に、降伏点と引張強度の中間値を限界応力度とすれば設計風速は、 $X^{1.5} = 1.95$  であり、 $X = 1.1402$  となる。この値は、供用期間約470年から求まる設計風速と同等となる。

