

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3200号

土木研究所資料

土木用金属系新素材の耐久性試験方法 に関する研究報告書

平成5年9月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

Copyright © (1990) by P.W.R.I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所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。

土木用金属系新素材の耐久性 試験方法に関する研究報告書

化学研究室 室長 片 脇 清
研究員 西 崎 到

要 旨

土木材料としては比較的新しく優れた性質をもつ土木用金属系新素材は、土木材料として新しいが故に実績も少なく、また、種類が多いこともあり、その耐久性が評価されていないものが多い。その大きな原因のひとつに、土木材料として優れた耐久性を持つ材料を評価するための、確立された手法がないことが挙げられる。ここではこの様な観点から、金属系新素材を土木分野に利用する際の、耐久性に関する事項について検討した結果をまとめたものである。

キーワード：金属、新素材、土木、耐久性、試験方法、ステンレス、アルミニウム、チタン

まえがき

金属材料は古くから土木材料として利用されてきたが、最近の動向として、耐久性の向上、意匠性などのニーズが強くなっている。

これらのニーズに適応できるものとして、ステンレス、アルミニウム、チタンやそれらのクラッド鋼が有力なものとして考えることができる。

これらの材料は土木材料としては比較的新しく、優れた耐久性をもつものも多いが、土木材料として新しいが故に実績も少なく、また、種類が多いこともあり、その耐久性を評価されてないものが多い。

土木材料として、優れた耐久性をもつ材料を評価するための、確立された手法がないことは、主要な原因のひとつに挙げられよう。

本報告書は、このような観点から、金属系新素材を土木分野に利用する際の耐久性に関する事項について検討した結果をまとめたものである。

第1章では、土木構造物の耐久性についての考え方と、土木材料の耐久性評価についての考え方についてとりまとめた。これらは、耐久性評価技術のありかたを提案したものである。

第2章では、金属系新素材とその土木用途、さらにその腐食現象について、簡単にとりまとめたものである。

第3章では、現在使われている土木用金属系新素材の耐久性試験方法について、数例の土木用途についてその現状と問題点をとりまとめた。

第4章では、土木用途を考えた時の、望ましい耐久性評価方法についての考え方や、試験方法を提案した。ここでは金属系新素材を土木構造物に用いようとする場合に重要な耐久性について整理したものであり、今後実用性や普遍性を、なお検証しなければならない部分もあるが、ここにあげた例示に準拠して試験を行うことで、金属系新素材の耐久性に関する信頼性を高めることが期待できる。

なお、本報告書は、建設省総合技術開発プロジェクト『建設事業への新素材、新材料利用技術の開発』のなかの一課題『総合評価に関する研究』の成果をとりまとめたものである。同課題の研究推進にあたっては、財団法人国土開発技術研究センター内に設けられた、金属系新素材研究会において技術的な検討とともに原案が作成された。さらに総合評価小委員会において総合的な検討をして頂いた。本報告書作成にあたっては、総合評価小委員会の蒔田實委員長をはじめとする各委員、金属系新素材研究会の各委員、鋼材倶楽部、ステンレス協会、軽金属協会、チタニウム協会、国土開発技術研究センター、建設省土木研究所の関係研究室の関係者をはじめとして、多くの方々の御協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

総合評価小委員会 委員名簿 (平成5年3月現在) (順不同・敬称略)

委員長	蒔田 實	(財) 土木研究センター 参与 (日瀝化学工業 (株) 常務)
委員	松島 巖	(社) 鋼材倶楽部防錆特別委員会 委員 (日本鋼管 (株) 中央研究所 主席研究員)
"	金子 智	ステンレス協会 (日本金属工業 (株) 研究部)
"	宮本 三也	(社) 軽金属協会土木製品開発委員会耐久性評価分科会 主査 (古河アルミニウム工業 (株) 開発部 部長補佐)
"	北村 達人	(社) 強化プラスチック協会 専門委員
"	森 昭久	(社) 日本ゴム工業会 委員 ((株) ブリヂストン化工品企画部部長)
"	山本 弘	(社) 日本土木工業協会 土木工事技術委員会 委員
"	森 芳徳	(財) 土木研究センター技術研究所研究開発部 部長
"	永島 潮	建設省大臣官房技術調査室 技術調査官
"	池村 雅司	建設省土木研究所地質化学部長
"	片脇 清	建設省土木研究所地質化学部化学研究室長
"	田中 康順	(財) 国土開発技術研究センター研究第二部 部長
幹事	西崎 到	建設省土木研究所地質化学部化学研究室 研究員
"	有田 稔	(財) 国土開発技術研究センター研究第二部 次長
"	浜之上 純	(財) 国土開発技術研究センター研究第二部 参事

旧委員	遠藤	前建設省大臣官房技術調査室 技術調査官
"	小林 茂敏	前建設省土木研究所地質化学部長
旧幹事	広沢 規行	前 (財) 国土開発技術研究センター研究第二部 参事

金属系新素材研究会 委員名簿 (平成5年3月現在) (順不同・敬称略)

委員	飯野 伶之	(社) 鋼材倶楽部土木専門委員会 委員 (日鉄建材工業 (株) 土木営業技術部 部長)
"	松島 巖	(社) 鋼材倶楽部防錆特別委員会 委員 (日本鋼管 (株) 中央研究所 主席研究員)
"	根本 力男	ステンレス協会 (日本冶金工業 (株) 商品開発部)
"	金子 智	ステンレス協会 (日本金属工業 (株) 研究部)
"	酒井 和夫	(社) チタニウム協会開発会議建材分科会 海洋土木主査 (新日本製鉄 (株) チタン部)
"	三上 聡	(社) 軽金属協会土木製品開発委員会技術部会 部会長 (日本軽金属 (株) 公共エンジニアリング事業部 設計課長)
"	宮本 三也	(社) 軽金属協会土木製品開発委員会耐久性評価分科会 主査 (古河アルミニウム工業 (株) 開発部 部長補佐)
"	山本 博之	(社) 日本土木工業協会 (鹿島建設 (株) 技術研究所第一研究部第五研究室 主任研究員)
"	笠原 晃明	東京ガス (株) 技術研究所材料力学研究グループ 総括
"	中山 元	石川島播磨重工業 (株) 技術研究所構造材料部 研究員
"	森 芳徳	(財) 土木研究センター技術研究所研究開発部 部長
"	片脇 清	建設省土木研究所化学研究室 室長
"	西崎 到	建設省土木研究所化学研究室 研究員
事務局	浜之上 純	(財) 国土開発技術研究センター研究第二部 参事
"	土居 一幸	日鉄防食 (株) エンジニアリング事業部 部長

旧委員	福田 敬則	石川島播磨重工業 (株) 技術研究所構造材料部 研究員
"	富板 崇	前 (財) 先端建設技術研究センター研究第一部 主任研究員
旧事務局	広沢 規行	前 (財) 国土開発技術研究センター研究第二部 副参事

土木用金属系新素材の耐久性試験方法に関する研究報告書 目次

まえがき

1. 耐久性の考え方	1
1. 1 一般	
1. 2 基本	
1. 3 材料の耐久性評価	
1. 4 素材別の耐久性評価	
2. 土木用金属系新素材と腐食現象	11
2. 1 金属系新素材	
2. 2 土木用途への金属系新素材の適用	
2. 3 検討の対象とした土木用途の金属系新素材	
2. 4 金属系新素材の腐食現象	
2. 5 主要土木用途の環境と劣化因子	
3. 現在の耐久性試験方法	35
3. 1 試験方法一覧	
3. 2 暴露試験	
3. 3 促進劣化試験	
3. 4 シミュレーション試験	
3. 5 現在の評価方法	
3. 6 現在の寿命予測手法	
3. 7 土木用途別の耐久性試験項目	
3. 8 現在の耐久性評価方法の問題点	
4. 耐久性試験方法の提案	51
4. 1 耐久性評価手法の考え方	
4. 2 暴露試験方法	
4. 3 促進劣化試験方法	
4. 4 データベース	

付属資料

59

1. 土木用金属系新素材の耐久性試験方法（案）
 - (1) 土木用金属系新素材の腐食に関する耐久性予測方法（案）
 - (2) 土木用金属系新素材の標準暴露試験方法（案）
 - (3) 土木用金属系新素材の構造部位暴露試験方法（案）
 - (4) 土木環境調査項目（案）
 - (5) 土木構造物建設地点における環境腐食性の簡易測定方法〔暴露試験法〕（案）
2. 土木用途別金属系新素材一覧表（案）

1. 耐久性の考え方

1. 耐久性の考え方

土木構造物を構成する材料には基本的に高い耐久性が要求される。とはいえ、必ずしも高ければ高いほど良いとは言いがたい。材料によっては、性能が低下するまえに交換したほうが良いものや、耐久性があまり重視されないものもある。このように材料に要求される耐久性は、その使われ方によって大きく異なる。また、材料あるいは構造物の耐久性は、どのような維持管理が行われるかによって、大きく影響を受ける。このため、メンテナンスの仕組みを総合的に考えた上で耐久性の程度を要求しなければならない。

また、土木構造物の耐久性と材料の耐久性は混同しやすいが、明確に区別する必要がある。土木構造物の耐久性では、基本的に公共の財産である土木構造物を、機能、美観などの面で高い水準に保持しておくことが、最も基本的な条件であり、それを如何に行うかが、耐久性に関する検討の基礎となっている。

土木材料の耐久性評価は、多くの材料によって作成される土木構造物の耐久性を明確にするために行うということが基礎となっているので、土木用金属系新素材の耐久性の具体的かつ技術的な検討をするまえに、土木構造物とそれを構成する材料の耐久性について、基本的な考え方をまとめておくことは重要なことである。本章では、このような観点から耐久性の考え方を検討した結果を研究成果としてまとめたものである。

なお本章では、わかりやすくするために本文－解説スタイルで記述しているが、このような形であるからといって、行政的な強制力をもって適用することを目的としたものではないことに留意されたい。

1. 1 一般

1. 1. 1 適用範囲

この『耐久性の考え方』は、金属系新素材を土木構造物に利用するにあたって、耐久性を考慮する場合に適用する。

特に高い耐久性が期待される、土木分野に実績の少ない新しい材料を、土木構造物に適用する場合に考慮すべき基本的事項を示したものである。

耐久性を考慮する場合には、材料の耐久性を評価した使い方、あるいは材料の寿命予測を行った使い方を行うことが望ましい。

なお、ここで対象とする耐久性は、老化現象や腐食現象などの化学的な劣化（外観的な劣化を含む）に関する耐久性に限定する。

劣化現象の種類

- ・化学的劣化現象：風化、腐食、等
- ・機械的劣化現象：疲労、摩耗、クリープ、等
- ・その他劣化現象：汚れ、生物付着、等（『汚れ』などは外観的な劣化であるので、ここでの耐久性検討の対象とする）

土木構造物の特徴

①規模・形状

土木構造物は大型構造物が多い。そのために部位によって異なる局所的環境が発生することが多い。これは同じ自然環境にあっても、構造物の規模・形状によって、劣化因子も異なることを意味する。特に問題となる主な部分としては、隙間部や異種材料の取合部分などがある。

②環境

土木構造物は、大気、淡水（下水）、海水、土、応力等の多種多様な環境におかれる。また、各々の環境は時間的にも空間的にも不規則に変動している。それにもかかわらず高い安全性が要求される。

③仮設構造物と本構造物

土木構造物には仮設構造物と本構造物があるが、長期的な耐久性が問題となるのは、本構造物の方である。仮設構造物の場合も、使用中の信頼性の高さが要求されるが、交換が容易であるためあまり問題とならない。

④材料の組み合わせ

他の多くのものもそうであるように、多くの材料、素材を組み合わせて作られている。

土木構造物として複合されて構成されたものを分けていくと、構造物、部材、材料、素材というレベルに分けることができるが、耐久性評価に適したレベルを考えるとともに、ひとつのレベルに固執することなく、他のレベルでの材料の条件を考えに入れる必要がある。

1. 1. 2 用語の定義

本指針で用いる用語を下記のように定義する。

「劣化」とは、構造物の材料の性能が、時間の経過に伴い初期の性能から低下する現象をいう。

「寿命」とは、本来耐久性に関する要求性能を満たすように設計・製作された構造物の材料の性能が、劣化や要求性能の変化に伴って、要求性能を下回るまでの時間をいう。

「耐久性」とは、劣化に抵抗する構造物または材料の能力をいう。

1. 2 基本

1. 2. 1 土木構造物の寿命

土木構造物の劣化による寿命は、構造物の持つ性能が、劣化によって、要求される性能を満たさなくなるまでの時間をいう。

寿命となるケース

定義から判るように、寿命となる時とは、構造物の性能が、構造物に要求される性能を下回る時であるが、そのようなケースには下記の3とおりの場合がある。

① 劣化による寿命

土木構造物を構成する材料が劣化し、構造物が設計どおりの使用に耐えなくなった場合

② 要求性能上昇による寿命

構造物は充分使用に耐えるが、構造物に要求される性能、すなわち利用上のニーズが構造物の性能を越えるものになった場合である。

③ 劣化および要求性能上昇による寿命

①および②が同時に進行して寿命となる場合

なお、まえがきでも述べたように、本『考え方』では上記のうち、『①劣化による寿命』についてのみを取り扱うものとする。

寿命の種類

土木構造物の寿命は、注目する性能の性格によって、下記のように分類できる。

①構造的寿命：土木構造物の強度的な劣化、容量的な不足などの構造的性質によって決まる。

②社会的寿命：土木構造物の汚れ、景観性、陳腐化などの人間の感性的なもので決まる。

③経済的寿命：メンテナンスに係る費用が経済的に耐えられなくなった時点での寿命。

1. 2. 2 設計時に必要な考慮事項

設計時には下記の事項について考慮されていることが必要である。

①土木構造物の劣化による寿命を決定する性能と性能低下の限界

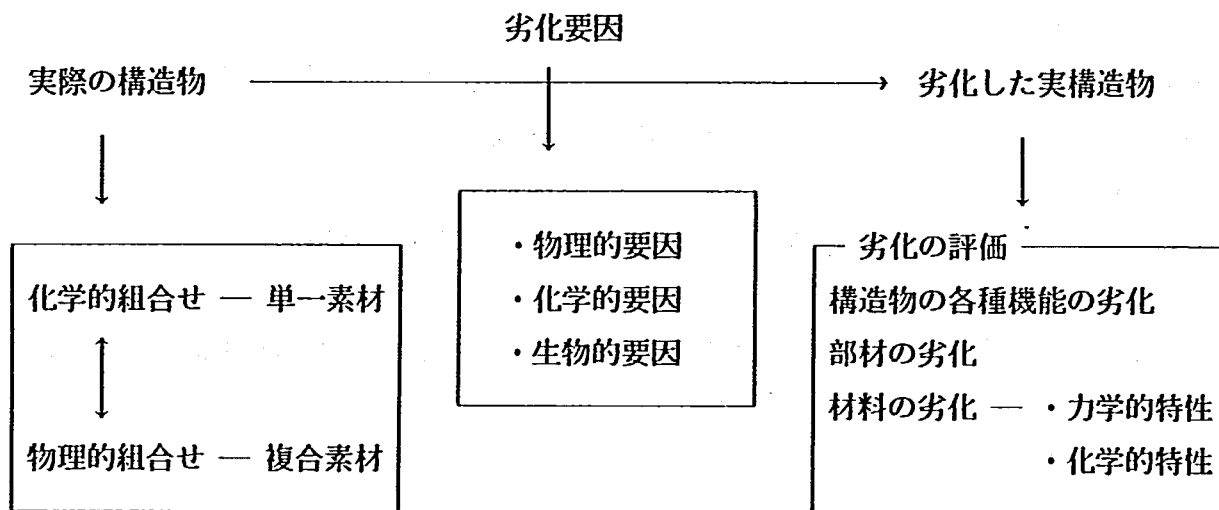
②メンテナンスの内容

土木構造物の寿命の基本的な事項である、土木構造物への要求性能は設計段階で検討されるものであり、構造物の劣化によってどこまで性能が低下したときを寿命とするかは、設計の段階で検討される必要がある。

また、架け替え困難な長大橋本体であれば、初期費用が高くてもできるだけメンテナンスなしで構造物を維持する必要がある。一方、比較的簡単に交換のできる高架橋の遮音壁のようなものであれば、耐久性を延ばすことより早めに交換してしまう方が、効率が良いこともある。この様に構造物の維持をどのように行うことが良いかも、設計段階で検討されていることが望ましい。

(1) 土木構造物の劣化

土木構造物の劣化要因および現象を正確に把握する必要がある。この関係を下図に示す。



また、耐久性評価にあたっては土木構造物の劣化の程度をどのように評価するかを決定する必要がある。土木構造物の劣化程度の評価方法には次のものがある。

①構造物の各種機能の劣化を評価

②部材の劣化を評価

③材料の劣化を評価
・力学的特性
・化学的特性

(2) メンテナンスの内容

土木構造物の耐久性を考慮するために、使用条件とメンテナンス条件を明確にする必要があるが、設計時における構造物の寿命に関する検討内容には、下記のような項目がある。

- ① 構造物の重要度
- ② メンテナンスをしないときの寿命
- ③ 有効なメンテナンスの内容と方法
- ④ 実際に実施するメンテナンスの内容と方法
- ⑤ メンテナンスをしたときの寿命

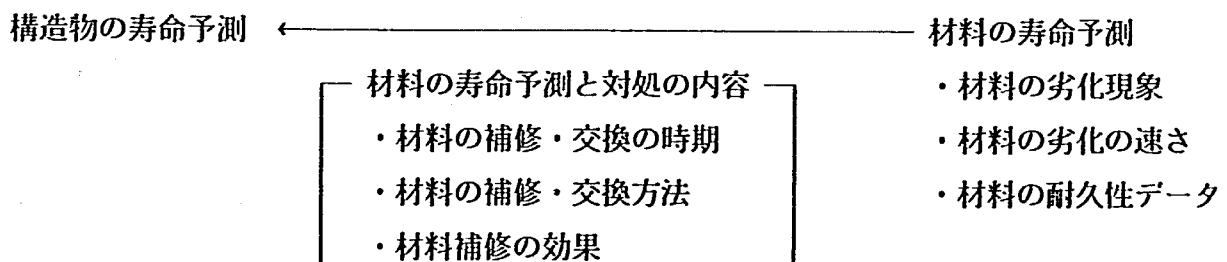
1. 2. 3 構造物の寿命と材料の寿命

土木構造物の寿命をのばすために、材料の寿命の長いものを用いる。

土木構造物の寿命は、土木構造物を構成する土木材料の寿命と必ずしも一致しないが、土木構造物の寿命を明確にするためには、材料の寿命を明確にする必要がある。

1. 2. 4 材料の寿命予測

構造物を構成する材料は、あらかじめ寿命を予測してその対処を検討する必要がある。



1. 2. 5 トータルライフコストの考え方

土木構造物に係わる費用は、製作時の費用だけでなく維持管理に係わる費用をも考慮に入れる。

耐久性に優れた材料の使用は、土木構造物の製作時の費用を増加させることが多い。土木構造物の耐久性を向上させることができる場合には、耐久性に優れた材料の使用の効果、維持管理にかかる費用の軽減、安全性・信頼性の向上など、土木構造物に係わるトータルライフコストによって評価することが合理的である。

1. 3. 材料の耐久性評価

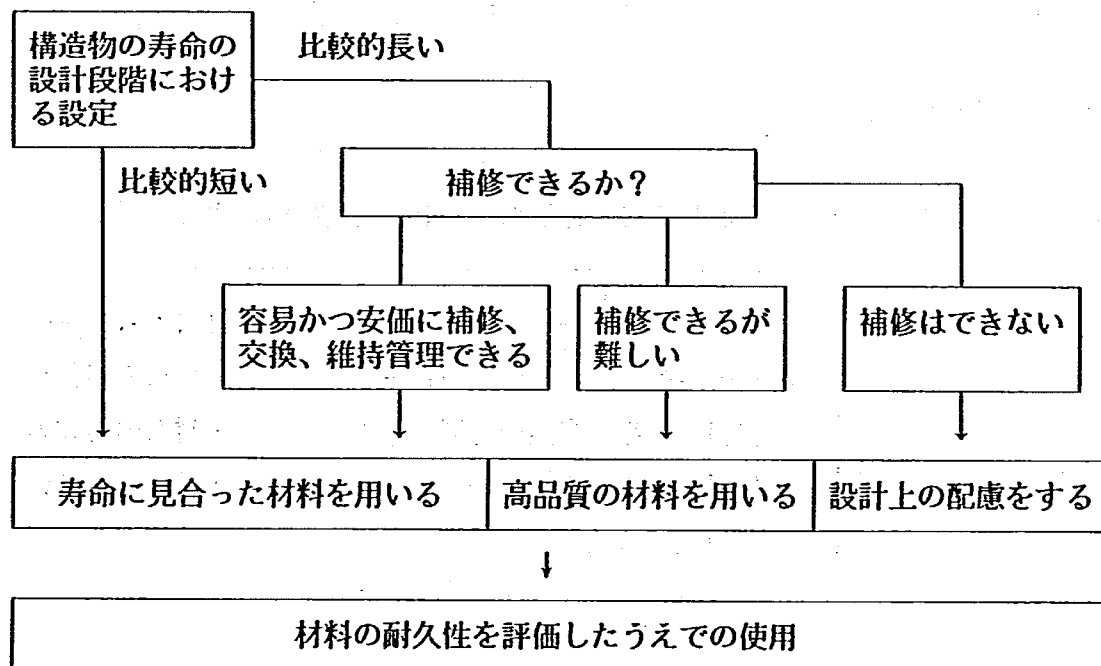
1. 3. 1 耐久性評価の基本

実際環境での性能の経時変化を予測することが耐久性評価の目的である。

新素材は有用な様々な機能をもつものの、耐久性についての確実なデータの少ないものが多いが、これらの材料についても、耐久性についての評価を行うことにより、有用な機能を活かした利用が進むことが望ましい。

土木材料の使用目的に応じて、材料に必要な設計寿命を設定し、それに応じた耐久性評価を行う。

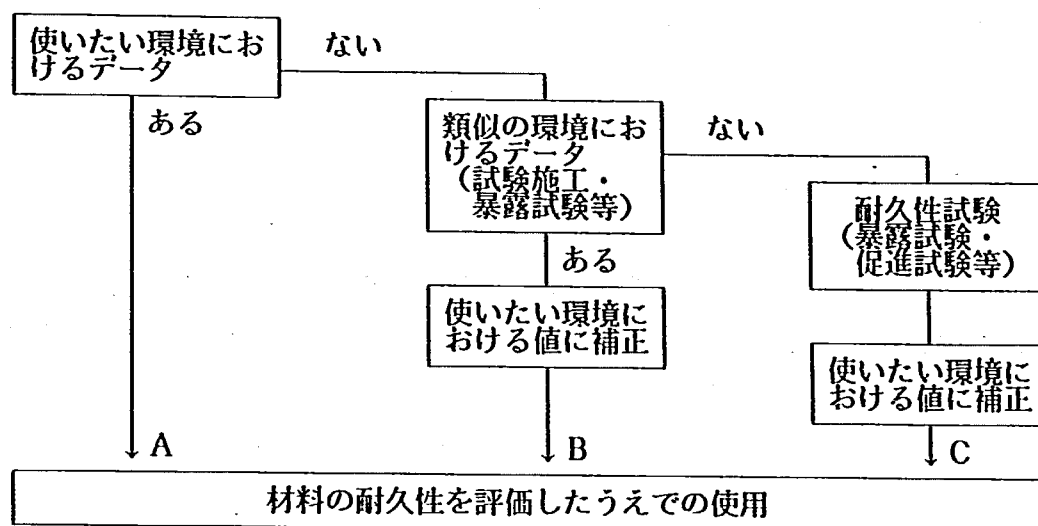
耐久性評価を行った時の土木材料の使い方は下記ようになる。



1. 3. 2 耐久性の評価手順

構造物の設置環境での耐久性に関するデータがない場合は、類似の環境データまたは耐久性試験による補正を行い、耐久性評価を行うことができる。

構造物の設置環境に応じた耐久性評価を行うことで構造物の寿命と材料選択が可能となる。



材料の耐久性の評価にあたっては、耐久性評価の方法とその耐久性評価（信頼性）の位置付けを明らかにすることが合理的である。

暴露試験：実際の使用環境またはそれに類似した環境に暴露するもので、実際の劣化の速度についてのデータを得るために有効である。実用段階での暴露試験では、実際の構造物と相似した供試体（モデル）あるいは部材を用いた試験を主とする。暴露試験は代表的な数カ所の環境で同時に行うのがよい。

人工環境試験：シミュレーション試験および促進劣化試験で、前者は実際環境に近づけた耐久性評価に、後者は同種材料間の耐久性比較に役立てることができる。

試験施工：実際の使用条件・使用環境におくもので、最終的な耐久性評価手法として役立てられる。試験施工にあたっては使用目的と使用条件を検討した上で、試験項目と方法を選定する。またその際、施工条件および施工管理条件を明らかにし、施工要領および積算資料の他、追跡調査要領を準備する。

表 標準的と考えられる代表的な暴露試験地点の大気中の例

分 類	例 示
沿岸環境（亜熱帯） （温暖）	沖縄、諸島など 日本海沿岸など
田園環境	つくばなど
都市交通環境	東京、大阪など
積雪環境	北海道、新潟など

1. 3. 3 材料の寿命とメンテナンス

土木材料の寿命の評価は、メンテナンスを行わない時の寿命を基本データとする。

メンテナンスを行う時の耐久性の評価は、メンテナンスを行わない時のデータに、設計時に設定したメンテナンスの効果を勘案する。

1. 3. 4 耐久性試験項目の選定

試験項目は、劣化の要因および現象を想定した上で、最もクリティカルと考えられる劣化現象を把握し、これに適合した耐久性評価項目を選定する必要がある。

1. 3. 5 データベース

耐久性データは、ある統一した標準的な様式で整理し、データベースとしておくことが望ましい

耐久性データをデータベース化しておくことは、後の耐久性評価或いは寿命予測に役立つものと期待される。

耐久性データベースの構造

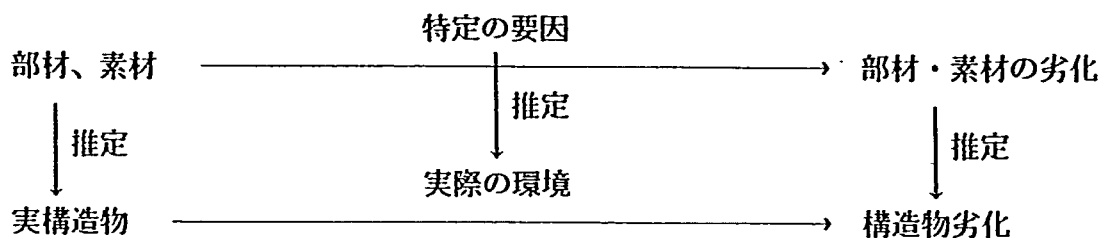
データベースの基本システム構成

1. 3. 6 耐久性評価（寿命予測）

寿命予測にはそれぞれの材料に適した手法を用いる。

寿命予測の信頼性を向上させるには、

- ①実際の構造物の機能が、部材・素材のどのような性質に基づいているかを把握する必要がある。
- ②材料の耐久性のデータを多く集めることにより、材料の劣化の時間的变化を推定し、寿命予測を行う。



1. 4. 金属系新素材の耐久性評価

1. 4. 1 試験項目の選定

材料に応じた寿命予測のために、金属系新素材の基本特性に応じた試験項目を選ぶ必要がある。

金属系新素材の他の材料と共通する項目の例は以下の通りである。

暴露試験場所、方法
材料の評価方法
環境の評価方法
実構造物の調査方法

金属系新素材特有の項目の例は以下の通りである。

劣化のメカニズム
環境と劣化との相関
材料の実績
耐久性の考え方の違い

1. 4. 2 金属系新素材の耐久性評価

金属系新素材の耐久性評価は、土木用金属系新素材の耐久性予測方法（案）に準拠して行う。

2. 土木用金属系新素材

2. 土木用金属系新素材

2. 1 金属系新素材

近年の金属系新素材の開発は目覚ましく、数多くの新しい素材が開発されている。この中には土木用途が期待されるものも多くある。ここでは詳細な検討を行う予定であるので、検討対象を絞るために、そのなかでも特に今後土木分野において、広く用いられることが期待されているものを選んだ。以下の4種類がそれである。以下の検討においては下記の材料を検討対象の中心とした。

- ①クラッド鋼
- ②ステンレス鋼
- ③アルミニウムおよびその合金
- ④チタンおよびその合金

2. 2 土木用途への金属系新素材の適用

検討対象とした金属系新素材（①クラッド鋼、②ステンレス鋼、③アルミニウムおよびその合金、④チタンおよびその合金）が、現状以上の耐久性または美観性が求められている土木用途の中で、どのような用途に適用が考えられるかを検討した。

以下に示す表は、その結果をとりまとめたのである。なお、この調査の結果の詳細は、『土木用途別金属系新素材一覧』として付属資料にまとめている。

道路付属構造物

路側用防護柵（ガードレール）、歩道用防護柵

ロックシェッド・落石防護柵（網）、スノーシェッド・スノーシェルター・雪崩防止柵
防風柵・防雪柵、碎石ネット、防音壁、遮光板（ロードセパレータ）

メタル排水溝、メタル流雪溝、照明柱・標識柱、標識板

グレーチング、マンホール蓋、チャッターバー・ストップアイ・デリネータ

センターマーカー、信号灯制御ボックス、カーブミラー

橋梁

箱桁等桁本体、鋼製橋桁・橋桁防食用金属箔・薄板

桁カバー（ルーバータイプを含む）

点検用歩廊、橋側歩道、高欄・防護柵

排水溝、伸縮継手、化粧埋殺し型枠

ケーブル外筒管、吊り橋・斜張橋用ケーブル

点検用作業車、補修塗装用エア配管、ケーブル定着体、支承

トンネル

防災設備、内装材、セグメント

河川・ダム

矢板護岸、ダムゲート、水門・堰堤、取水設備、スクリーン

港湾・海洋構造物

矢板護岸、鋼管杭、水門、浮棧橋、係留設備、浮体構造物の係留索、陸閘

耐食メタル型枠、鋼管杭防食用金属ライニング、鋼矢板防食用金属ライニング

下水道設備

貯水槽、覆蓋、手摺、埋設配管、ヒューム管内面ライニング、ヒューム管継手

基礎構造物

基礎杭、鋼製連壁、タイロッド、地下ケーブル外筒

都市設備・公園設備

モニュメント、フラッグポール、プール、ベンチ

手摺、階段、ネットフェンス

バスストップシェルター、立体トラス構造材

一般部材・その他

ボルトナット、アンカーボルト

コンクリート混合用ファイバー、鉄筋

2. 3 検討の対象とした土木用途の金属系新素材

2. 3. 1 検討の対象とした土木用途

2. 2で考慮した多くの土木用途とそれに対応する金属系新素材のなかから、特に用途として有望なものを数種類選びだし、その後の耐久性試験手法に関する検討のケーススタディの対象とすることとした。

対象とした用途および対応する金属系新素材は、下記の表に示すとおりである。

土 木 用 途	対 応 す る 金 属 系 新 素 材	
橋梁桁カバー (ルーバー, 囲い, 接着)	鉄鋼 ステンレス 鋼 アルミニウム合金 チタン	クラッド材 SUS304 A1100, A3003 A5052, A6063, AC7A, AC3A, AC4C カラーアルミ TP-28, TP-35 (箔)
下水道施設 (貯留槽) (貯留槽蓋) (手摺) (配管ライニング)	ステンレス 鋼 チタン ステンレス 鋼 アルミニウム合金 ステンレス 鋼 アルミニウム合金 ステンレス 鋼	SUS304, 316等含Mo鋼及び二相鋼 TP-28, TP-35 SUS304, 316 A6063, A6061 SUS304, 316 A6063, A6061 SUS316
高欄, 防護柵	鉄鋼 ステンレス 鋼 アルミニウム合金	クラッド材 SUS304 A5052, A5083 A6061, A6N01, A6063 AC4A, AC4C, AC7A
ダムゲート, 水門	クラッド鋼 ステンレス 鋼 アルミニウム合金 チタン	ステンレスクラッド (淡水, 海水) チタンクラッド (淡水, 海水) キュプロニッケルクラッド (海水) SUS304, SUS304N1, SUS304N2, SUS316, 二相鋼, SUS410, SUS630, SUS430, A5083, A5052 TP-28, TP-35

(1) 橋梁桁カバーの例

橋梁桁カバーには、ルーバータイプ、囲いタイプ、接着タイプなどがある。下の写真はルーバータイプと囲いタイプの施工例である。

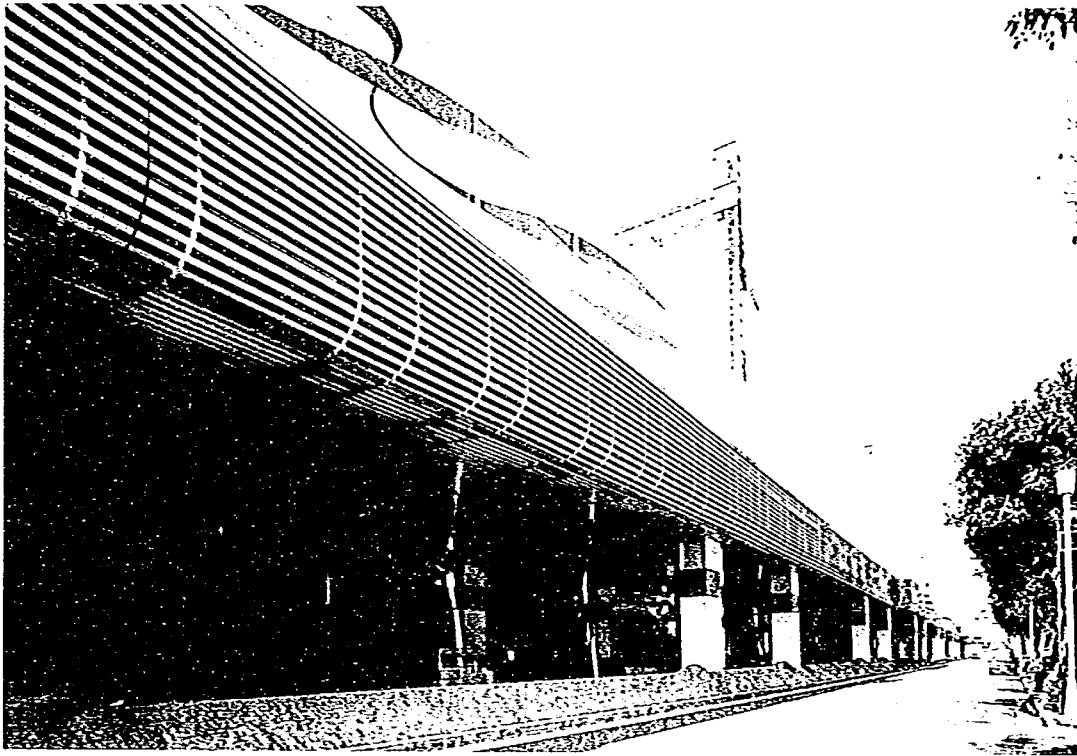


写真-1 ルーバータイプ桁カバー施工例
(東京都大手町、平成3年施工)

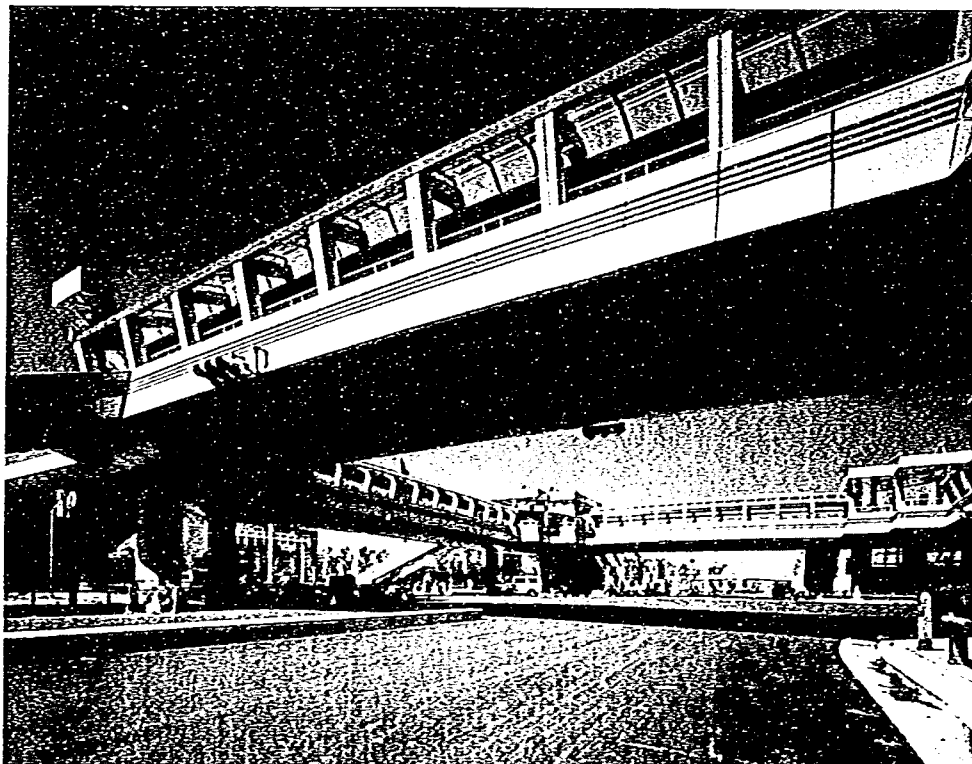
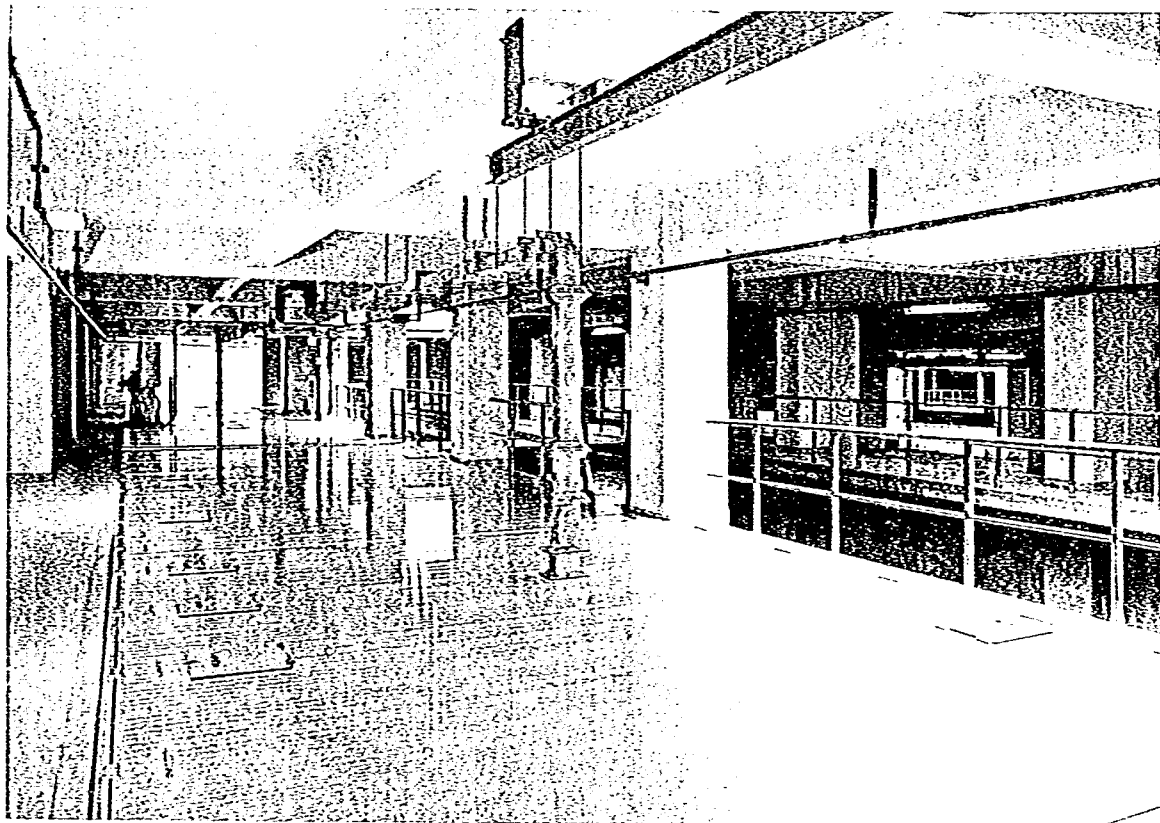


写真-2 囲いタイプ桁カバー施工例
(千葉県幕張メッセ、平成元年施工)

(2) 下水道施設の例

主要な下水道施設としては、貯留槽、貯留槽蓋、手摺などが挙げられる。典型的な例を以下の写真に示す。



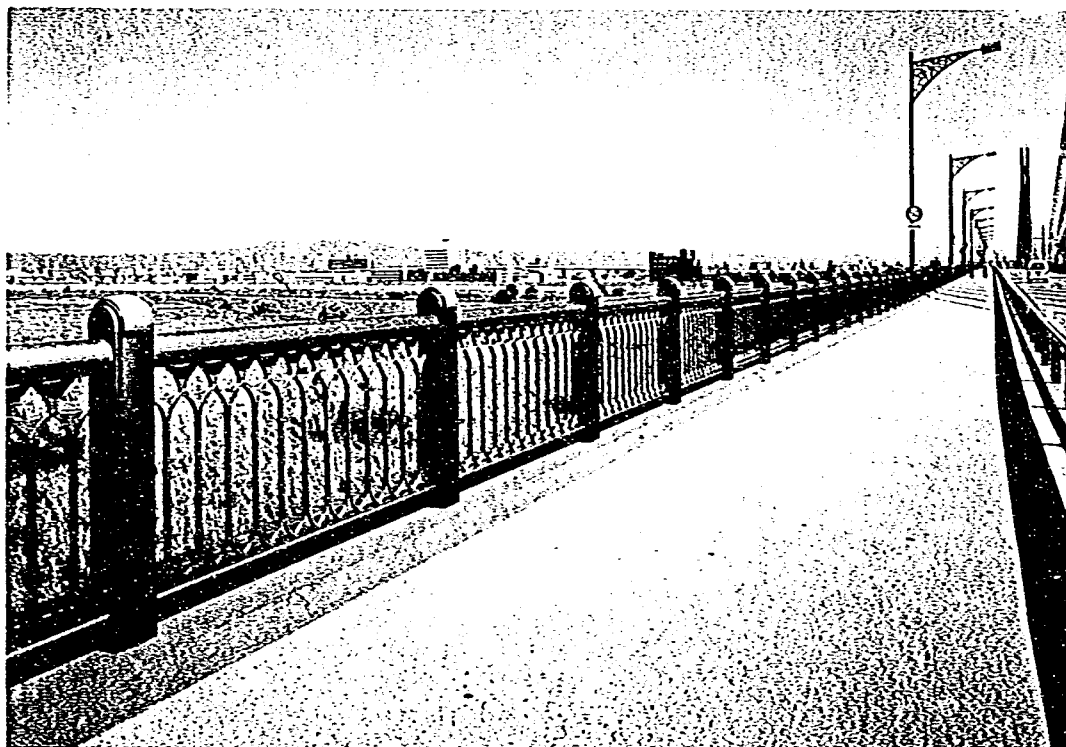
写真－3 下水道施設（覆蓋）の例

（神奈川県逗子浄水管理センター 昭和62年施工）

アルミニウム合金製（押出成形、6063、陽極酸化塗装複合被覆）

(3) 高欄・防護柵の例

高欄・防護柵の施工例の写真を以下に示す。

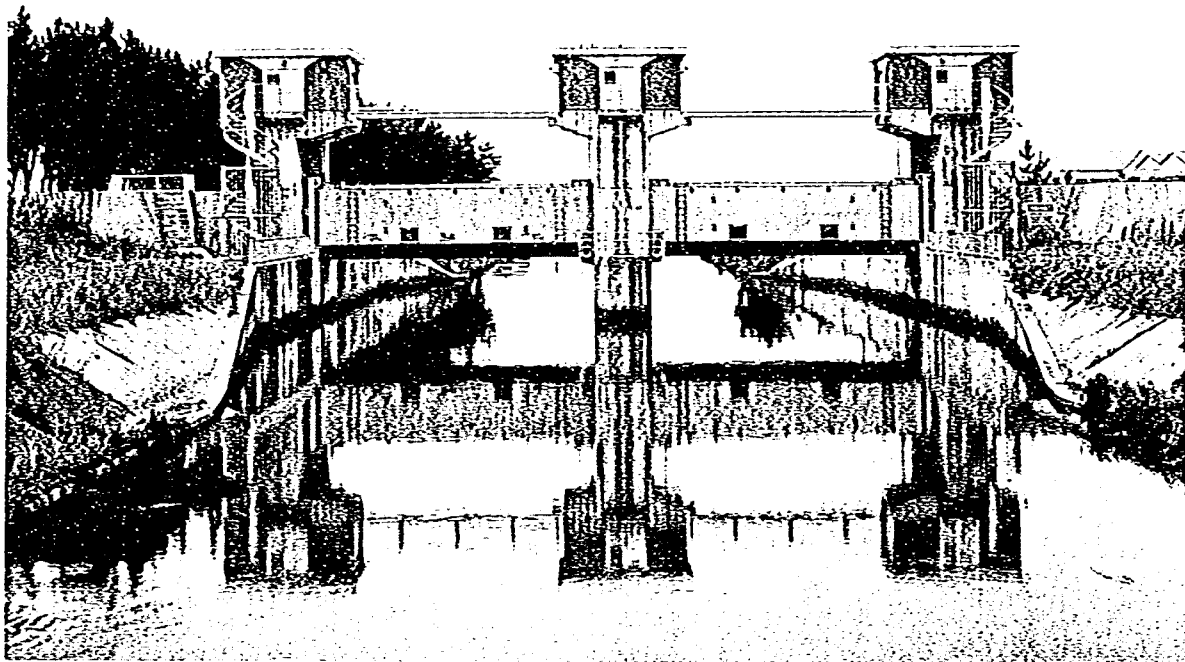


写真－4 歩道橋高欄の例
(大阪府菅原城北大橋、平成2年施工)



写真－5 橋梁用防護柵の施工例
(静岡県栗代橋、平成2年施工)

(4) ダムゲート・水門の例
水門の適用例を写真に示す。



写真－6 水門の施工例
(静岡県大幡川水門、昭和63年施工)

2. 3. 2 検討の対象とした金属系新素材

上記の対象とする金属系新素材の概要は以下のとおりである。

(1) クラッド鋼

普通鋼とステンレス鋼・チタンなどの耐食性金属を、圧延などの方法によって接合した2層状の材料

ステンレスクラッド鋼(JIS G 3601)としては、圧延クラッド鋼、爆着クラッド鋼、拡散クラッド鋼、肉盛クラッド鋼の4種がある。

チタンクラッド鋼(JIS G 3603)としては、圧延クラッド鋼、爆着クラッド鋼の2種がある。

その他JISには、ニッケルおよびニッケル合金クラッド鋼(JIS G 3602)と、銅および銅合金クラッド鋼(JIS G 3604)が示されている。

(2) ステンレス鋼

ステンレス鋼は鉄をベースにして、クロムまたはクロムとニッケルを含有する合金である。基本的にはフェライト系、マルテンサイト系、オーステナイト系の3種類があり、フェライト系・マルテンサイト系は鉄-クロム、オーステナイト系は鉄-クロム-ニッケルによる合金である。鉄鋼に比べて優れた耐食性をもつ。

SUS304：オーステナイト系。優れた耐食性を有する。加工性、溶接性なども良好。

SUS304L：オーステナイト系。304の炭素量を低下させ、溶接鋭敏化による応力腐食割れ感受性を低下させたもの。

SUS304N1：オーステナイト系。304に窒素を添加して、加工性を維持しながら強度を強めたもの。(低炭素量とすると軟らかくなるので、その代用としても有用)

SUS304N2：オーステナイト系。304に窒素およびニオブを添加して、加工性を維持しながら強度を強めたもの。用途は304N1と同様である。

SUS316：オーステナイト系。モリブデンを含有して、304に比べ耐食性に優れる。

SUS410：マルテンサイト系。良好な耐食性、機械加工性をもつ。皿ばね(ダムゲート強度部材)等耐食性と強度をともに要求される部材に用いられる。

SUS430：フェライト系。優れた耐食性を有する。建築内装、家電部品等に用いられる。

SUS630：析出硬化系。クロム・ニッケルの他、銅・ニオブを含み、析出硬化性を持たせた高強度材である。シャフト等に用いられる。

二相鋼：オーステナイト・フェライト系。(SUS329J1, SUS329J3Lなどがある)
オーステナイト・フェライト系の二相の組織をもち、海水に強く耐食性に優れ、高強度を持つなどの特徴がある。

(JIS 参考資料を参照)

(3) アルミニウム

アルミニウムは、鉄鋼の約1/3の比重である。比較的軟らかく展伸性に優れている。大気中では自然に耐食性のよい酸化皮膜が表面にできるため、耐食性に優れている。土木構造物としての用途では、軟らかいことから強度が気にされるが、合金によって7~60 kg/mm² (69~588MPa) 程度の引張強度をもつ。アルミニウム合金には展伸材と鋳物材がある。

アルミニウムの合金の種類には下記のようなものがある。

非熱処理型合金	純アルミニウム	(1000系)
	Al-Mn系合金	(3000系)
	Al-Si系合金	(4000系)
	Al-Mg系合金	(5000系)
熱処理型合金	Al-Cu-Mg系合金	(2000系)
	Al-Mg-Si系合金	(6000系)
	Al-Zn-Mg系合金	(7000系)

2. 3. 1に示した表中にある各合金の主要な特徴を以下に示す。

A1100 : 99.0%以上の純アルミニウムで、銅が微量添加されている。

加工性・耐食性・溶接性に優れるが、強度は低い。

A3003 : マンガンを添加することにより、純アルミニウムの加工性・耐食性を維持したまま、強度を少し増加させたものである。容器などに用いられる。

A5052 : マグネシウムを含み、中程度の強度を有する。

A5083 : マグネシウム含有量の多い合金であり、非熱処理型合金では最も強度に優れている。

A6061 : 耐力25kg/mm² (245MPa)であり、SS400に相当する。強度、耐食性が良好であるが、溶接の継手効率が低い。

A6063 : 押出性に優れる。6061ほど強度の必要のない構造材（建築サッシ等）に用いられる。

A6N01 : 6063と6061の中間の強度を有する。

AC3A : 珪素の含有量が10%を越える鋳物材である。

AC4C : 珪素の含有量の多い鋳物材である。

AC7A : マグネシウムの含有量の多い鋳物材。

(4) チタン

チタンは鉄鋼の1/2程度の比重である。また強度は純チタンの場合25~60kg/mm² (24

5～588MPa) 程度の引張強度を有し、加工性にも優れた金属である。J I Sでは、J I S H 4 6 0 0 に、規格が定められている。チタンは表面に強固な酸化皮膜を自然に形成するため、非常に優れた耐食性を持つ。一方このため大気中では溶接出来ないため、現地における施工は困難である。

チタンは酸素含有量により、J I Sでは1種から3種の3品種に規格化されており、そのそれぞれが熱間圧延仕上と冷間圧延仕上に分けられる。

表一 にあるチタン板の主要な特徴を以下に示す。

T P 2 8 (1種) : 酸素が0.15%以下のもので、引張強度は270 ～ 410 MPaである。

T P 3 5 (2種) : 酸素が0.20%以下のもので、引張強度は340 ～ 510 MPaである。

T P 4 9 (3種) : 酸素が0.30%以下のもので、引張強度は480 ～ 620 MPaである。

2. 4 金属系新素材の腐食現象

金属系新素材の腐食の種類、土木材料として使われるときにさらされる環境条件については、耐久性検討の基礎知識として重要であるので、簡単にまとめることとした。

2. 4. 1 土木環境の分類

土木環境とは、材料が土木構造物として用いられるときにさらされる外部環境条件を言う。材料がさらされる環境として、土木構造物が置かれる環境を分類すると、大まかには下記のように分類できると考えられる。

- ・大気
- ・海洋
- ・河川、湖水
- ・下水
- ・土中
- ・その他（コンクリート中等）

さらに土木環境を環境因子毎に分類して考えることにより、土木環境に関する詳細な検討を行うことができる。環境を因子毎に分解した例には、次のような表がある。

土木構造物の環境因子とその要因

	土木材料の実際の環境	環境の要因															
		主に空気を媒体とした要因										主に水を媒体とした要因					
		気温	温度差	風	湿度	日光	飛来塩分	大気汚染	煤塵・砂	温泉	人為的	用途的	その他	降水	海水	水流	砂等
化学的因子	温度																
	光																
	水																
	酸素																
	オゾン																
	酸性物質 (SO _x , NO _x , CO ₂ , H ₂ S 等)																
	塩基性物質																
	塩 (NaCl, 等)																
	酸素																
	オゾン																
	粒子状物質 (有機系)																
	粒子状物質 (無機系)																
物理的因子	その他																
	静的応力 (引張、圧縮、曲げ、ねじり、剪断)																
	動的応力 (静的の繰返)																
	共振																
	衝撃																
	摩擦																
	(熱) 膨張収縮																
	(乾燥湿润) 収縮膨張																
生物的因子	その他																
	カビ																
	バクテリア																
	貝類																

注) 材料の使用方法・一般的環境条件により、この表が複数作成されうる。

土木用高分子系材料の環境要因

		土木用高分子系材料に与えられる環境条件・			
		条 件	範 囲	時間的要素	試験条件
化学的因子	温度				
	光				
	化学物質	水			
		酸素			
		オゾン			
		酸性物質 (SO _x , NO _x , CO ₂ , H ₂ S 等)			
		塩基性物質			
		塩 (NaCl, 等)			
		酸素			
		オゾン			
		粒子状物質 (有機系)			
		粒子状物質 (無機系)			
		その他			
物理的因子	静的応力 (引張、圧縮、曲げ、ねじり、剪断)				
	動的応力 (静的の繰返)				
	共振				
	衝撃				
	摩擦				
	(熱) 膨張収縮				
	(乾燥湿潤) 収縮膨張				
	その他				
生物的因子	カビ				
	バクテリア				
	貝類				

2. 4. 2 腐食現象の種類

土木構造物において比較的多く見られると考えられる腐食現象の代表的な例を以下に示す。

(1) ミクロな環境、局所的な環境のみに起因する腐食

1) 全面腐食

2) 局部腐食

孔食・粒界腐食・バクテリア腐食

隙間腐食・応力腐食割れ・腐食疲労（これらは構造に起因することが多い）

(2) 構造物としての空間を考慮すべき腐食

1) 材料に起因する腐食

①異種金属接触腐食

②溶接部（熱影響部）の腐食

2) 環境に起因する腐食

①酸素濃淡電池による腐食

②水中部・乾湿部・大気部と連続して接触する部材の腐食

③異種物質接触による腐食

④電食

2. 4. 3 金属系新素材の腐食メカニズム

腐食は形態的に全面腐食と局部腐食に分けられ、その原因や腐食メカニズムが異なっている。従って、それぞれに対策も異なることになる。すなわち、腐食原因を見誤ると対策が効果をあげることができない。

①全面腐食（均一腐食）

全面腐食（均一腐食）は、基本的には均一に生じる腐食の形態である。実際にはある程度の凹凸を生じて材料の機能をに対する影響が極めて小さく、実質的に平均的に腐食していると見なせるものは全面腐食として扱う。

全面腐食型の腐食の代表例として大気中の炭素鋼（いわゆる鉄鋼材料）の腐食が挙げられる。炭素鋼は大気に触れて水と酸素の作用で徐々に自然水に触れると徐々に全面的、かつ、ほぼ均一に腐食していく。その腐食度は環境によって0.01～0.1mm/y 程度である。通常は塗装によって防食する。

その腐食速度は、初期にはやや速いが、さび層の形成に伴ってその保護作用のために時間と共に収束する傾向にある。自然水中の炭素鋼腐食も全面腐食型となることもあるが、材料および（または）環境の不均一によってしばしば局部腐食を伴う。自然水中に含まれる酸素と腐食性物質で、その濃度（溶存酸素）が高く、温度が高いほど腐食速度は速い。実際には、塗装を行ったり電気防食を行ったりして使用されることが多い。

②局部腐食

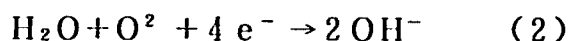
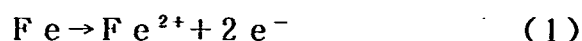
局部腐食型は代表的にはステンレス鋼（アルミ合金、チタン合金も）である。

ステンレス鋼の表面は、自然に（空気中で）酸化して生成する特殊な酸化皮膜（不働態皮膜）に覆われている。そのクロムを含む酸化皮膜が水中で非常に安定かつ緻密なために非常に強い耐食性を示す（高アルカリ側で生じる鉄の酸化皮膜も同じく安定なためにコンクリート中の鉄筋は耐食性である）。

この酸化皮膜は、塗料と違って自己補修性があるため永続的なものである。しかるに、塩化物イオンなどの攻撃性アニオンが存在すれば、その強固な不働態皮膜のうちの一部の弱い所が攻撃されて、局部的に不働態皮膜が破られる。

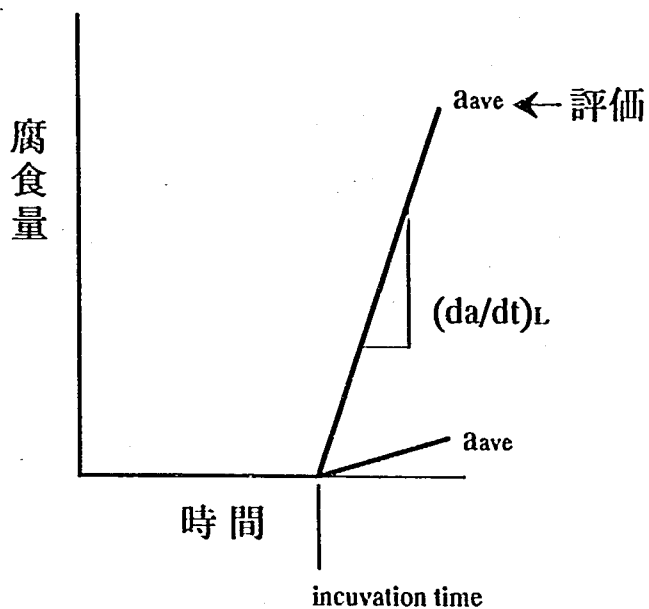
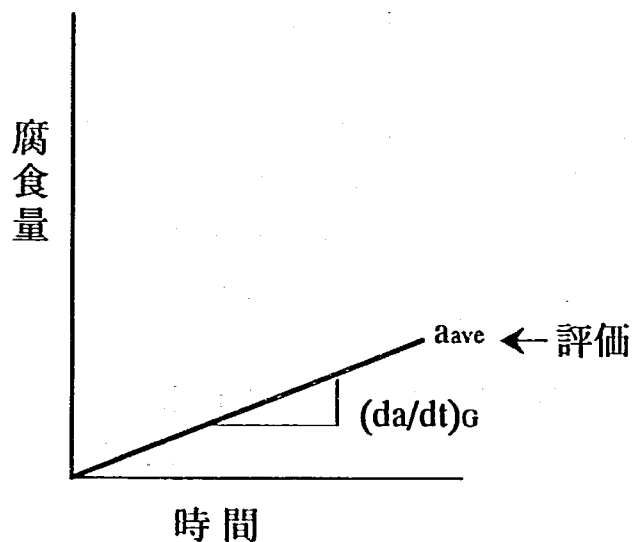
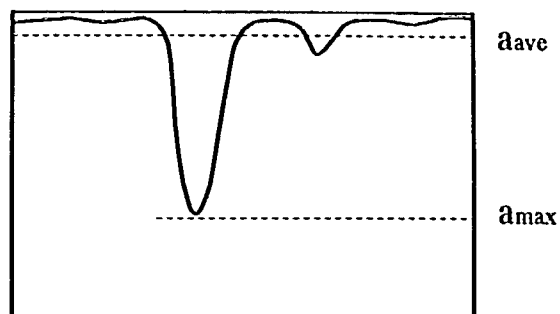
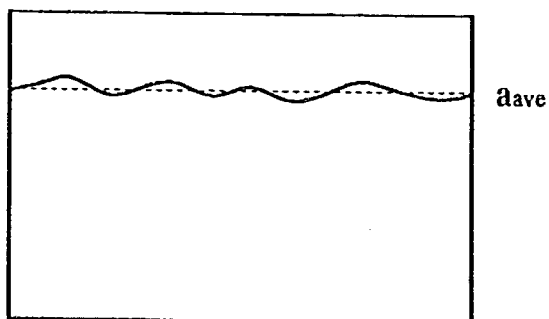
従って、全面腐食は、環境に接するとすぐに腐食が開始するのに対して、局部腐食の場合には、不働態皮膜が局所的に破られるまでの時間（Incubation time）がある。

腐食反応は、以下に示すように金属が金属イオンとなって水溶液中を融け出すアノード反応（腐食する反応(1)）と、その反応によって生じる電子を消費するカソード反応（腐食を支える反応(2)）が対になってはじめて進行する。



アノード反応はもっぱら不働態皮膜が破られた局所部分だけで進行するのに対して、カソード反応は（不働態化している）全面で行われるが、カソード反応に見合う量のアノード反応が局所に集中するため、局部腐食速度は速くなり得て、もはや腐食しろでは反応できなくなる（全面腐食ではアノード反応とカソード反応が同じところで起きて均衡しているので腐食は均一になる）。

全面腐食と、局部腐食の概念をまとめると次図のようになる。



$(da/dt)_G$

≪

$(da/dt)_L$

大気中の鉄鋼材料
Znめっき

ステンレス鋼
アルミニウム
チタン
しばしば土中、水中の炭素鋼

対応：塗装，腐食しろ

対応：局部腐食を起こさない範囲で使用
局部腐食発生寿命以下での使用
局部腐食進展モニター下で使用

全面腐食

不動態／
局部腐食

不働態／局部腐食型の金属（環境中で不働態化し、その不働態が局所的に破られて、その下でもっぱら腐食する形態）を正しく、安心して使用するためには局部腐食を起こす心配のない環境で使用するこゝである。

金属が水溶液中に浸漬された時、その金属と水溶液との間で平衡に達する電位が存在して、それを自然腐食電位という。金属の種類およびpH、溶存酸素濃度、温度、生物付着、その他の環境条件などによって決定される。この値は、実環境中の構造物や供試材について測定される。

局部腐食生起の臨界電位は塩化物濃度に依存して、低濃度であるほど貴な電位を示し、塩化物イオン濃度の低下と共に、局部腐食生起の臨界電位は低下する。この、局部腐食生起臨界電位は実験室試験によって求められる。

従って、次図に示すように、自然腐食電位、 E_{sp} 、と局部腐食生起臨界電位、 V_c との関係によって使用の可否が決定される。すなわち、局部腐食生起臨界電位の方が自然腐食電位よりも貴であれば、自然状態では局部腐食生起臨界電位を超えられないことになるから、この範囲においては局部腐食を起こさないのに対して、自然腐食電位の方が貴であれば、局部腐食生起の可能性がある。

ただし、表記の方法による判定は保守的な（厳しい）判断であって、実際には局部腐食生起領域に在っても、構造物寿命に対して局部腐食生起寿命が長い、生起後の進行速度が小さければ使用される。

ただし、局部腐食を起こす可能性がない条件での使用が理想的であるが、これを前提とすると可使用範囲が著しく狭くなるため、局部腐食が発生する時期および進行速度と構造物の（設計）寿命との兼ね合いで、局部腐食が発生する可能性を許容して材料が使用される（事もある）。

大気腐食の場合も同じメカニズムによって、腐食が発生／進行する。

金属表面が雨水、露など目に見えないか凝縮した水層で濡れている時間が腐食を起こす時間である。

大気の汚れ（ SO_x 、 Cl^- など）が水に溶解し、後に水分は蒸発するため、金属表面でそれらのイオンが濃縮されるため、条件によっては厳しい腐食環境となろう。

炭素鋼の場合、ほぼ均一な全面腐食を起こすのに対して、ステンレス鋼では表面がボツボツと発錆し始める。大気腐食環境下での局部腐食の進展は、一般に非常に遅く、また、ある程度で停止する傾向があるため、構造上の問題が生じる可能性は低い、美観上は問題となる。

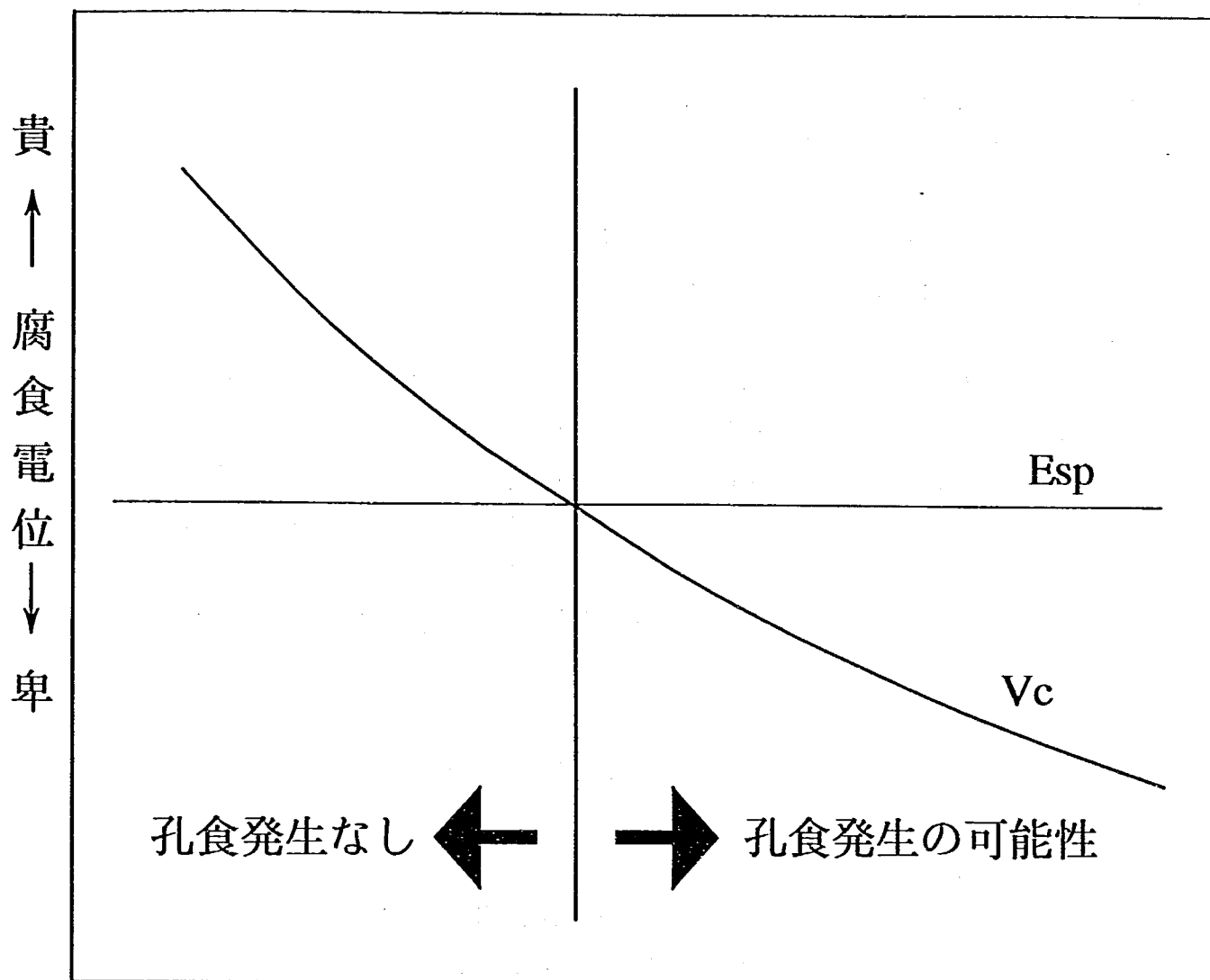


図 局部腐食生起領域の模式図

2. 5 主要土木用途の環境と劣化因子

2. 3で選んだ土木用途について、材料の置かれる環境や劣化因子等について検討を行ったものである。また、各用途における現状で考えられる劣化の内容をとりまとめた。このなかで、或いはこれ以外でも、どのような劣化がクリティカルであるかを見極めることが重要である。

2. 5. 1 橋梁桁カバー（ルーバー、囲い、接着）

(1) 土木用途の環境と劣化因子

土木分野 : 橋梁

環境 : 外側・・・大気（内陸、沿岸、海洋）

内側・・・結露、漏水

劣化因子 :

- a. 内陸大気：汚染（SO_x , NO_x ）、ぬれ時間、ぬれ回数、表面付着物、温度
異種金属との接触、コンクリートとの接触
- b. 沿岸大気：汚染（SO_x , NO_x ）、ぬれ時間、ぬれ回数、海塩粒子、温度
表面付着物、異種金属との接触、コンクリートとの接触
- c. 海洋大気：汚染（SO_x , NO_x ）、ぬれ時間、ぬれ回数、海塩粒子、飛沫
温度、表面付着物、異種金属との接触、コンクリートとの接触

注1. 景観上塗装する時は、その外観変化、劣化、剝離に影響する因子が加わる。

注2. 接着タイプでは、接着剤の劣化因子が加わる。

要求機能 :

- a. 耐食性
 - ・用途に応じ少なくとも20年程度以上の耐用年数が要求される。
 - ・できる限りメンテナンスフリーであることが要求される。
 - ・孔あき、割れ等が生じないこと。
- b. 美観性
 - ・美観は特に重視される。
 - ・美観を損ねる発錆、変色等表面性状に変化のないこと。
- c. 強度
 - ・自重、風荷重に耐え、耐震性を有すること。

(2) 評価項目／内容

(1) 桁カバー（囲い）

① 桁カバー外側下面の腐食

② 桁カバー外側コーナー部の腐食

③ 桁カバー内面の孔食

- ④ボルト接合部の隙間腐食
- ⑤ボルト接合部の異種金属接触腐食
- ⑥桁カバー外面の汚れ

(2)桁カバー（ルーバー）

- ①桁カバー下面の発錆
- ②桁カバー外側コーナー部の腐食
- ④ボルト接合部の隙間腐食
- ⑤ボルト接合部の異種金属接触腐食
- ⑥桁カバー外面の汚れ

(3)桁カバー（接着）

- ①桁カバー下面の発錆
- ②桁カバー外側コーナー部の腐食
- ④ボルト接合部の隙間腐食
- ⑤ボルト接合部の異種金属接触腐食
- ⑥桁カバー外面の汚れ
- ⑦接着剤の劣化

2. 5. 2 下水道施設（貯水槽、手摺等）

(1) 土木用途の環境と劣化因子

土木分野 : 下水道

環 境 : 外側・・・土または大気

内側・・・下水, 高湿度大気

(ルーバータイプ: 外気通過)

劣化因子 :

- a. 土 : 水分、通気性、電導性、含有塩類、土壌性状
微生物、温度、異種金属との接触
- b. 大 気 : 汚染 (SO_x , NO_x)、ぬれ時間、ぬれ回数、温度、表面付着物
海塩粒子、異種金属との接触
- c. 下 水 : pH、下水成分、付着汚泥、微生物、異種金属との接触
- d. 高湿度大気 : 気中成分、ぬれ時間、ぬれ回数、温度、表面付着物
異種金属との接触

(注) 手摺等で景観上塗装する時は、その外観変化、劣化、剥離に影響する因子が加わる。

要求機能 :

- a. 耐食性

- ・長期の耐食性が要求される。
- ・メンテナンスフリーが要求される。
- ・減肉厚、孔あき、割れ等が生じないこと。

b. 美観

- ・一般の目に触れる部材では、美観を損ねる腐食、変色等表面性状に変化のないこと。

c. 強度

- ・土圧に耐えられる強度を持ち、耐震性を有すること。

(2) 評価項目／内容

(1) 貯水槽

- ①内側底の腐食
- ②内側側面水面部の腐食
- ③内側側面大気部の腐食
- ④外側の腐食（土に接する場合）
- ⑤溶接部の腐食

(2) 蓋

- ①下面の腐食
- ②上面の腐食
- ③下面溶接部の腐食

(3) 手摺

- ①一般部の腐食
- ②溶接部の腐食
- ③手摺柱の最下部（水の溜まり易い部分）の腐食
- ④手摺柱の高分子材料埋込部の腐食

2. 5. 3 高欄, 防護柵

(1) 土木用途の環境と劣化因子

土木分野 : 道路付属構造物

環 境 : 露出部・・・大気 内陸, 沿岸, 海岸

埋没部・・・コンクリート

劣化因子 :

- a. 内陸大気 : 汚染 (SOx , NOx)、ぬれ時間、ぬれ回数、温度、表面付着物
異種金属との接触、コンクリートとの接触
- b. 沿岸大気 : 汚染 (SOx , NOx)、ぬれ時間、ぬれ回数、海塩粒子、温度

表面付着物、異種金属との接触、コンクリートとの接触

c. 海洋大気：汚染（SO_x，NO_x）、ぬれ時間、ぬれ回数、海塩粒子、飛沫
温度、表面付着物、異種金属との接触、コンクリートとの接触

d. コンクリート：コンクリートとの接触、温度、水、塩分

要求機能：

a. 耐食性

- ・20年程度以上の長期の耐食性が要求される。
- ・できる限りメンテナンスフリーが要求される。
- ・減肉厚、孔あき、割れ等が生じないこと。

b. 美観性

- ・重視される。
- ・美観を損ねる腐食、変色等表面性状に変化のないこと。

c. 強度

- ・用途に応じ、対車防護、対人防護等の必要強度が要求される。

（2）評価項目／内容

①一般部の腐食

②溶接部の腐食

③手摺柱の最下部（水の溜まり易い部分）の腐食

④手摺柱の高分子材料埋込部の腐食

⑤接続部の隙間腐食

⑥溶接部の粒界腐食

2. 5. 4 ダムゲート、水門

（1）土木用途の環境と劣化因子

土木分野：ダム、水門

環境：淡水、海水

劣化因子：

- a. 淡水：pH（酸性河川の場合）、流速等物理的条件、温度、浮遊物の衝突、異種金属との接触、表面付着物、コンクリートとのとり合せ
- b. 海水：汚染、流速等物理的条件、温度、浮遊物の衝突、異種金属との接触、表面付着物、コンクリートとのとり合せ
- c. 大気：汚染（SO_x，NO_x）、海塩粒子、ぬれ時間、飛沫

（注）景観上塗装するときは、その外観変化、劣化、剝離に影響する因子が加わる。

要求機能：

a. 耐食性

- ・用途に応じ少なくとも20年程度以上の耐用年数が要求される。

- ・できる限りメンテナンスフリーであることが要求される。

b. 美観性

- ・美観を損ねる発錆、変色等表面性状に変化のないこと。

c. 強度

- ・用途に応じ構造的強度、耐震性が要求される。

(2) 評価項目／内容

①水中一般部の腐食

②大気中一般部の腐食

③水中・大気中繰り返し部分の腐食

④放流管内面の腐食（流れ）

⑤異種金属接触腐食

⑥コンクリートとのとり合い部分のアルミの腐食

⑦溶接部の腐食

⑧エロージョン・コロージョン、ゲート、戸あたり、摺動部

3. 現在の耐久性試験方法

3. 現在の耐久性試験方法

これまでの金属材料の耐久性を試験する際に用いられている主な試験方法をまとめた。

3. 1 試験方法一覧

現在の金属材料の主な耐久性試験方法には下記ような種類がある。

(1) 暴露試験

①大気暴露試験

JIS Z 0304 さび止め処理金属の大気暴露試験方法

JIS H 0521 アルミニウムおよびアルミニウム合金の大気腐食試験方法

JIS K 5400 塗料一般試験方法

(JIS Z 2381 屋外暴露試験通則)

②海水暴露試験

なし

(2) 促進劣化試験

①一般腐食試験

- ・孔食試験 JIS G 0578 ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法
- ・孔食電位 JIS G 0577 ステンレス鋼の孔食電位測定方法
- ・隙間腐食試験 ASTM G48-76/ASTM G78-89
- ・隙間腐食発生電位 JIS なし、隙間付試験片を用い、JIS G 0577類似の方法による。
- ・粒界腐食試験 JIS G 0571 ステンレス 鋼の10%塩酸エッチ 試験/JIS G 0572
ステンレス 鋼の硫酸・硫酸第二鉄腐食試験/JIS G 0573 ステンレス 鋼の
65%硝酸腐食試験/JIS G 0575 ステンレス 鋼の硫酸・硫酸銅腐食試
験/JIS G 0580 ステンレス 鋼の電気化学的再活性化率の測定方法
- ・応力腐食割れ試験 JIS G 0576 ステンレス鋼の42%塩化マグネシウム腐食試験方法
JIS H 8771 アルミニウム合金材料の応力腐食割れ試験方法
- ・塩水噴霧試験 JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法
- ・キャス試験 JIS H 8681 アルミニウムおよびアルミニウム合金の陽極酸化被覆の耐食性試験方法

②環境試験

- ・促進耐候性試験 JIS K 5400 塗料一般試験方法
- ・複合耐候性試験 JIS H 8602 アルミニウムおよびアルミニウム合金の陽極酸化塗装複合皮膜
- ・複合サケル試験 JASO M609-91 自動車用材料腐食試験方法
- ・コンクリート中の腐食試験

(3) シミュレーション試験

(4) エロージョン・コロージョン試験

3. 2 暴露試験

3. 2. 1 大気暴露試験

実際の大気環境下で、腐食の状態を調べるものである。

現在下記の規格が適宜使用されている。

JIS Z 2381 屋外暴露試験通則

JIS Z 0304 さび止め処理金属の大気暴露試験方法

JIS H 0521 アルミニウムおよびアルミニウム合金の大気腐食試験方法

JIS K 5400 塗料一般試験方法

3. 2. 2 海水暴露試験

試験片、試験材を実際の海水に暴露し、腐食に対する耐食性を調べる試験である。

JIS規格はない。実使用状態に対応して海中浸漬、海水透水、あるいは長尺材を垂直に海底土～大気に渡って暴露し、各部（海底土、海中、干満部、飛沫部、大気中）の耐食性を調べる。

3. 2. 3 下水暴露試験

試験片、試験材を下水に暴露し、腐食に対する耐食性を調べる試験である。

JIS規格はない。実使用状態に対応して下水浸漬をし、耐食性を調べる。

3. 3 促進劣化試験

3. 3. 1 孔食試験

ステンレスの耐孔食性を評価する試験である。JIS G 0578 (1981) によって実施する。ステンレス鋼の35℃又は50℃における6%塩化第2鉄溶液中の腐食度を測定して耐孔食性を調べる。

3. 3. 2 孔食電位

不動態系金属の耐孔食性評価のための電気化学的試験である。

JIS G 0577 (1981) によって実施する。

3. 3. 3 隙間腐食試験

ステンレスの耐隙間腐食性を評価する試験である。

ASTM G 48-76, G 78-89によって実施する。

3. 3. 4 隙間腐食電位

不動態系金属の耐隙間腐食性評価のための電気化学的試験である。

JISはないが、隙間付き試験片を用い、JIS G 0577に類似した方法で実施する。

3. 3. 5 粒界腐食試験

ステンレスの耐粒界腐食性を評価する試験である。

JIS G 0571-80、G 0572-84、G 0573-80、G 0575-80、G 0580-80に従って実施する。

3. 3. 6 塩水噴霧試験

塩分により腐食をうける金属について、腐食の進行の仕方と材料間の腐食比較を知るための試験である。

JIS Z 2371に従って実施する。

3. 3. 7 キャス試験

アルミニウムは銅イオンを含む酸性の塩水により腐食が促進されるため、銅塩を含む酢酸酸性の塩水溶液を規定の時間試料に噴霧し、アルミニウム合金間の腐食比較を知ることが目的とする試験である。

JIS H 8681 5. キャス試験方法に従って実施する。

3. 3. 8 促進耐候性試験

塗装鋼板の被覆を紫外線を含む強い光によって劣化させ、金属素材の水分による腐食を促進させる試験である。紫外線照射と水の噴霧を繰り返し行う。

JIS K 5400 9.8 促進耐候性に従って実施する。

3. 3. 9 複合耐候性試験

アルミニウムの陽極酸化塗装複合皮膜の陽極酸化皮膜は、銅イオンを含む酸性の塩水により腐食が促進され、塗装皮膜は紫外線によって劣化を受けるため、複合皮膜間の耐久性比較を知るための目的として行う。

JIS H 8602 4.11 促進耐候性試験によって実施する。（サンシャインカーボンアーケ灯式耐候性試験機を用い、BP63℃、60分中12分スプレー、300 ～ 700nmにおいて $340 \pm 60 \text{ W/m}^2$ の条件で 250時間照射したあと、JIS H 8681 5. のキャス試験を行う。）

3. 3. 10 複合サイクル試験

金属は塩水噴霧、湿潤、乾燥のサイクルにより腐食を促進させる試験である。材料間の耐久性比較を知ることが目的として行うものである。

JASO M 609-91 自動車用材料腐食試験方法による。

3. 3. 11 応力腐食割れ試験

ステンレス鋼の沸騰42%塩化マグネシウム溶液中における、応力腐食割れ感受性の試験である。JIS G 0576によって実施する。

3. 3. 12 コンクリート中の腐食試験

コンクリートと接触する部分の腐食性を調べるための試験である。特に鉄筋などコンクリート中にある異種金属と接触する場合に問題となる。また防食のための塗装の適否を判断するためにも用いられる。

3. 4 シミュレーション試験

実際の腐食環境での腐食状態及び耐久性を予測する究極の試験方法であるが、現時点では制定された規格等はない。

3. 5 現在の評価方法

金属素材 . . . 機械的性質（引張強さ、耐力、伸び）

腐食状態（腐食重量、腐食形態、孔食密度、レイティングナンバー、深さ）

塗 装 材 . . . 機械的性質（引張強さ、耐力、伸び）

腐食状態（色調、光沢、チョーキング、ふくれ、割れ）

劣化の種類	対象金属素材（必要性）					実環境での性能
	クラッド鋼		ステン レス鋼	アルミニウム 合 金	チタン 合 金	
	ステン レス	チタン				
孔 食	○	○	○	○	－	強度外観に影響しないこと
隙間腐食	○	○	○	○	○	同 上
粒界腐食	○	－	○	○	－	感受性がないこと ダムゲートなど
大 気 ○外観変化 （塗装材劣化を含む） ○全面腐食 ○局部腐食 ○異種金属接触腐食	○	○	○	○	○	・外観変化が軽微なこと ・強度、外観に影響する孔食、隙間腐食を生じないこと ・異種金属と共存しうること
海 水 ○外観変化 （塗装材劣化を含む） ○全面腐食 ○局部腐食 ○異種金属接触腐食	○	○	○	○	○	同 上
応力腐食割れ	○	○	○	○	○	生じないこと
10-ジョン・10-ジョン	○	○	○	○	○	・強度、外観に影響しないこと ・放流管など

凡例 ○：よく適用される試験方法、—：一般に適用されていない試験方法

各劣化項目の評価は、機械的性質（引張り強さ、耐力、伸び）及び腐食状態（腐食量、腐食形態、孔食密度、レイティングナンバー、深さ、塗装材にあっては色調、光沢、チョーキング、ふくれ、割れ）により行う。

3. 6 現在の寿命予測手法

現在の寿命予測手法について大気環境における例を示す。

普通鋼については、これまでに数多くの研究が行われデータが蓄積されている。暴露試験の結果をもとに、環境因子と腐食量の関係が求められた例としては、陸上鉄骨構造物防食研究会によってまとめられた、下記のような式がある。

$$\begin{aligned} \text{腐食度 (mmd)} = & 4.15 + 0.88 \times (\text{温度, } ^\circ\text{C}) - 0.073 \times (\text{相対湿度, \%}) - \\ & 0.032 \times (\text{降雨量, mm/月}) + 2.913 \times (\text{Cl}^-, \text{ ppm}) + \\ & 4.921 \times (\text{SO}_2, \text{ mmd}) \end{aligned}$$

〔内陸、工業地帯〕

$$\text{腐食度 (mmd)} = 5.61 + 2.754 \times (\text{Cl}^-, \text{ ppm}) + 6.155 \times (\text{SO}_2, \text{ mmd})$$

〔臨海地帯〕

また、暴露期間と腐食量の関係が求められた例としては、下記のような式がある。

$$\text{腐食量} = k t / (n + t)$$

(但し、kとnは、環境と鋼の化学組成に依存する定数)

普通鋼以外の寿命予測としては、耐候性鋼についての寿命予測が、(財)鋼材倶楽部と土木研究所により暴露試験をもとに行われた。その結果最も相関の良い、暴露期間と腐食量の関係式は、下記のような式である。

$$\text{腐食量} = A X^B$$

(但し、AとBは、環境と鋼の化学組成に依存する定数)

(参考文献：防食技術セミナー「Ⅶ」, (社) 鋼材倶楽部, 1989)

3. 7 土木用途別の耐久性試験項目

ここでは2. 3に示した土木用金属系材料の耐久性を試験する際に適用できる試験項目を、3. 1から3. 4に示した各種の試験方法から検討し選んだものである。この検討は2. 5に示した各土木用金属系材料の置かれる環境条件を検討することにより行ったものであり、今後新たな用途における耐久性を検討する際の参考になるものと考えられる。

3. 7. 1 橋梁桁カバー

(1)試験目的

腐食環境下における材料の強度変化、さび、孔食、割れ等の有無あるいはその程度を推定する。または、それらについて材料間の比較を行う。

(2)劣化試験項目

適用が考えられる試験

試験の種類	クラッド鋼		ステン レス鋼	アルミニウム 合金	チタン (純チタン)
	スチール	チタン系			
a. 孔食試験					
b. 孔食電位					
c. 隙間腐食試験					
d. 隙間腐食電位					
e. 粒界腐食試験					
f. 塩水噴霧試験	○		○	○	
g. キャス試験				○*	
h. 複合耐候性試験				○*	
i. 複合サイクル試験	○**		○**	○**	
j. 促進耐候性試験				○*	
k. 応力腐食割れ試験	○**	○**	○**	○**	
l. シムレーション試験	○**	○**	○**	○**	○**
m. 大気暴露試験	○**	○**	○**	○**	○**
n. 海岸暴露試験	○**	○**	○**	○**	○**

○* : 表面処理材に対しての試験

○** : すきまおよび異種金属接触・応力の影響を含めた試験

3. 7. 2 下水道施設

(1)劣化試験項目

試験の種類	ステン レス鋼	7%ニッケル 合金	チタン 合金
a. 孔食試験	○		
b. 孔食電位	○		
c. 隙間腐食試験	○		
d. 隙間腐食電位	○		
e. 粒界腐食試験	○		
f. 塩水噴霧試験	○	○	
g. キャス試験		○*	
h. 複合耐候性試験		○*	
i. 複合サイクル試験	○**	○**	
j. 促進耐候性試験		○*	
k. イオン、コロイド試験	○	○	○
l. 応力腐食割れ試験	○**	○**	○**
m. シュレーション試験	○**	○**	○**
n. 大気暴露試験	○**	○**	○**
o. 下水暴露試験	○**	○**	○**

○* : 表面処理材に対する試験

○** : すきまおよび異種金属接触・応力の影響を含めた試験

3. 7. 3 高欄・防護柵

(1)試験目的

腐食環境下における材料の強度変化、さび、孔食、割れ等の有無あるいはその程度を推定する。または、それらについて材料間の比較を行う。

(2)劣化試験

試験の種類	クラッド鋼		ステン レス鋼	アルミニウム 合 金
	ステン レス	チタン系		
a. 孔食試験				
b. 孔食電位				
c. 隙間腐食試験				
d. 隙間腐食電位				
e. 粒界腐食試験				
f. 塩水噴霧試験				○
g. キャス試験				○†
h. 複合耐候性試験				○†
i. 複合サイクル試験	○††		○††	○††
j. 促進耐候性試験				○†
k. 応力腐食割れ試験	○††			
l. コンクリート 腐食試験				○††
m. シムレーション 試験	○††	○††	○††	○††
n. 大気暴露試験	○††	○††	○††	○††
o. 海水暴露試験	○††	○††	○††	○††

○† : 表面処理材に対しての試験

○†† : すきまおよび異種金属接触・応力の影響を含めた試験

3. 7. 4 ダムゲート・水門

(1)試験目的

静止ならびに高流速の淡水（飽和指数 負），海水環境での下記に対する耐食性

(2)劣化試験項目

試験の種類	クラッド鋼		ステン	アルミニウム	チタン
	スチール	チタン系	レス鋼	合金	合金
a. 孔食試験	○		○		
b. 孔食電位	○		○		
c. 隙間腐食試験	○		○		
d. 隙間腐食電位	○		○		
e. 粒界腐食試験	○		○		
f. 塩水噴霧試験	○		○	○	
g. キャス試験				○*	
h. 複合耐候性試験				○*	
i. 複合サイクル試験	○**	○**	○**	○**	
j. 促進耐候性試験				○*	
k. 衝撃腐食試験		○			
l. IR-ジョン・コロジョン試験	○	○	○	○	○
m. 応力腐食割れ試験	○**	○**	○**	○**	○*
n. 大気暴露試験	○**	○**	○**	○**	○**
o. 海水暴露試験	○**	○**	○**	○**	○**
p. シュレージョン試験	○**	○**	○**	○**	○**

○* : 表面処理材に対する試験

○** : すきまおよび異種金属接触・応力の影響を含めた試験

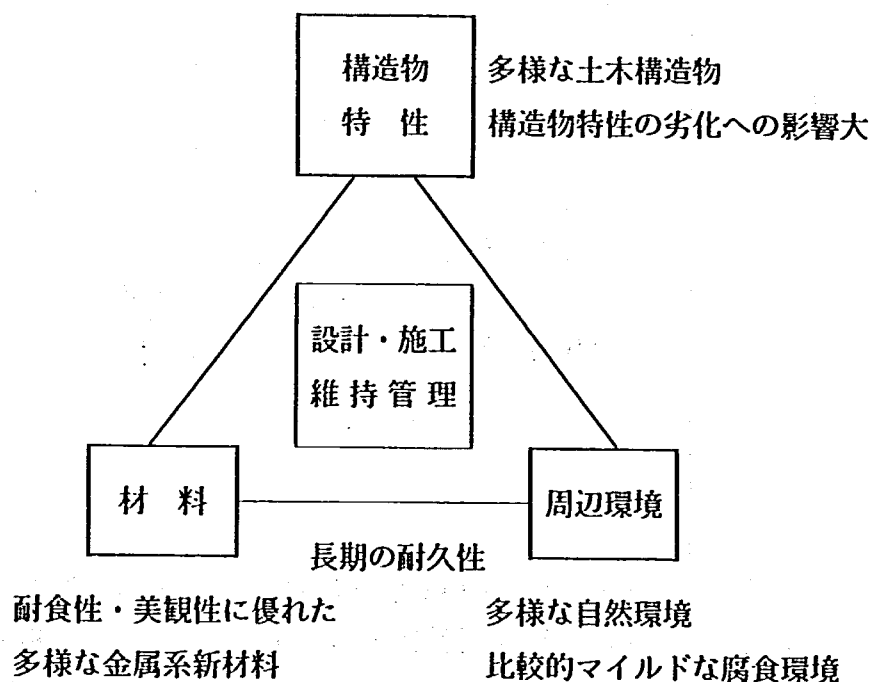
3. 8 耐久性評価手法の問題点

3. 8. 1 問題点を抽出するにあたっての留意点

所要の設計・施工・維持管理がなされる土木構造物の耐久性を考える場合、下図に示すように耐久性に関与する3つの要素、すなわち材料・周辺環境・構造物特性を考える必要がある。これら3つの要素は、それぞれ土木構造物として独自の特徴を有している。

土木構造物の耐久性評価、寿命予測を行うためには、まず、どこのどのような劣化現象が耐久性を考える上でクリティカルになっているかを見定め、クリティカルな部分を対象に、各種調査試験により得られたデータに基づいて耐久性を評価する。この耐久性評価にあたっては、土木構造物として特有の3つの要素の把握に立って、建設地点の自然環境における、使用予定の新材料で構成した土木構造物の着目部位の長期の耐久性ということに着目する必要がある。

土木構造物の耐久性に関与する3つの要素



3. 8. 2 問題点と対処

土木構造物に用いられる金属系新材料の現在の耐久性評価方法の問題点および改善に望ましい対処について、以下に列举する。

効 能	問 題 点	対 処
1) 促進試験について ・使用実績あるいは暴露試験データのある既知材料と新しい材料との相対比較データを出すことができ、使用材料の変更に役に立つ。	・寿命予測のためのデータになりにくい。 ・同種材料間の耐蝕性比較が限界で、異種材料間の耐蝕性比較には注意を要する。 ・自然界の複雑な腐食現象の内、腐食要因の一面のみを強調する試験であり、自然界の多数の因子が加わった腐食現象にそのまま対応するものではない。	・当該環境の腐食性をバランス良く強調して、当該環境下に置かれた材料間の定量的な相対比較データが得られる促進試験方法が求められている。
2) シミュレーション試験について ・寿命予測に比較的役に立つ。	・当該環境条件において考えられる腐食現象を腐食過程を考慮して再現する方法を確立することは、困難な場合が多い。	・可能な限り、シミュレーション試験を開発し、活用することが望まれる。
3) 使用実績データについて ・耐久性を評価する上で、最も信頼性のあるデータである。 ・劣化データの他にOKデータも役に立つ。	・公表されている数が少ない。 ・使用条件や材料の履歴の情報が不十分である。	・秘密をできる限り排除して、関連情報を十分採取した使用実績データを収集し、整理することが望まれる。

効 能	問 題 点	対 処
4) 自然暴露試験について ・寿命予測に比較的作用に立つ。	・長時間を要するものもある。 ・多額の費用がかかる。 <長期の寿命推定> ・比較的短期間のデータから長期間の挙動ないし寿命を推定しなければならず、信頼性が低くなる。特に、誘導期間のある腐食現象の場合は、それ以下の時間のデータは無力である。 <自然環境の多様性> ・自然環境は多様であり、使用実績データあるいは自然暴露試験の環境の腐食性と建設地点のそれが大きく異なる場合があり、この時その試験データを転用することができない。 ・環境因子と腐食との相関関係が解明されていないので、暴露試験環境の腐食性から建設地点のそれを推定することができない。 <構造物特性> ・同じ周辺環境下の同一材料でも構造部位の形状、寸法、向きや材料の組合せ等により、耐久性が異なる。よって、標準暴露試験片のデータから構造物に組み込まれた材料の耐久性を直接推定することは難しい。	・比較的短期間のデータであっても、同系材料、類似環境下の長期データや実験室データより、できる限り長期間の挙動を推定することが望まれる。 ・各種環境を腐食性の強さにより分類し、暴露試験地を適切に選定する必要がある。 ・建設地点の環境の腐食性を把握する必要がある。 ・構造部位の腐食への影響を把握する必要がある。

効 能	問 題 点	課 題
5) 耐久性評価システム	＜材料の多様性＞ ・耐食性・美観性に優れた多種多様な金属系新材料があるが、実績や暴露試験データのない材料を採用するために、新たに暴露試験を実施しなければならないとすると、時間が掛かり過ぎ、採用が困難になる。 ・土木構造物に用いられる金属系新材料の寿命予測方法が体系的に纏まっていない。	・実績や暴露試験データのない新材料でも既材料のそれらデータを補正して活用できるようにすることが望まれる。 ・種々の試験データを総合的に活用して、耐久性評価、寿命予測の信頼性を高める必要がある。
	6) その他 ・試験そのものに多額の費用がかかる ・防食に対するコスト評価を適正にすべきである。 ・素材だけのデータではなかなか信頼されない。 ・設計者には耐久性についてより深い理解が望まれる。	データデースの活用

4. 耐久性試験方法の提案

4. 1 耐久性評価手法の考え方

ここでは、提起された問題点・課題を踏まえ、新しい耐久性試験方法を提案するにあたっての耐久性評価手法の基本的な考え方をまとめるものである。

前章の3. 8節で耐久性評価システムについて、「種々の試験データを総合的に活用して、耐久性評価、寿命予測の信頼性を高めること」が、課題として提示された。ここでは、この課題に対する解決方法として、土木構造物の耐久性に関与する3つの要素（構造、環境、材料）と、それぞれの耐久性試験方法の課題を念頭において、耐久性評価のフローを以下の様に提案するものである。

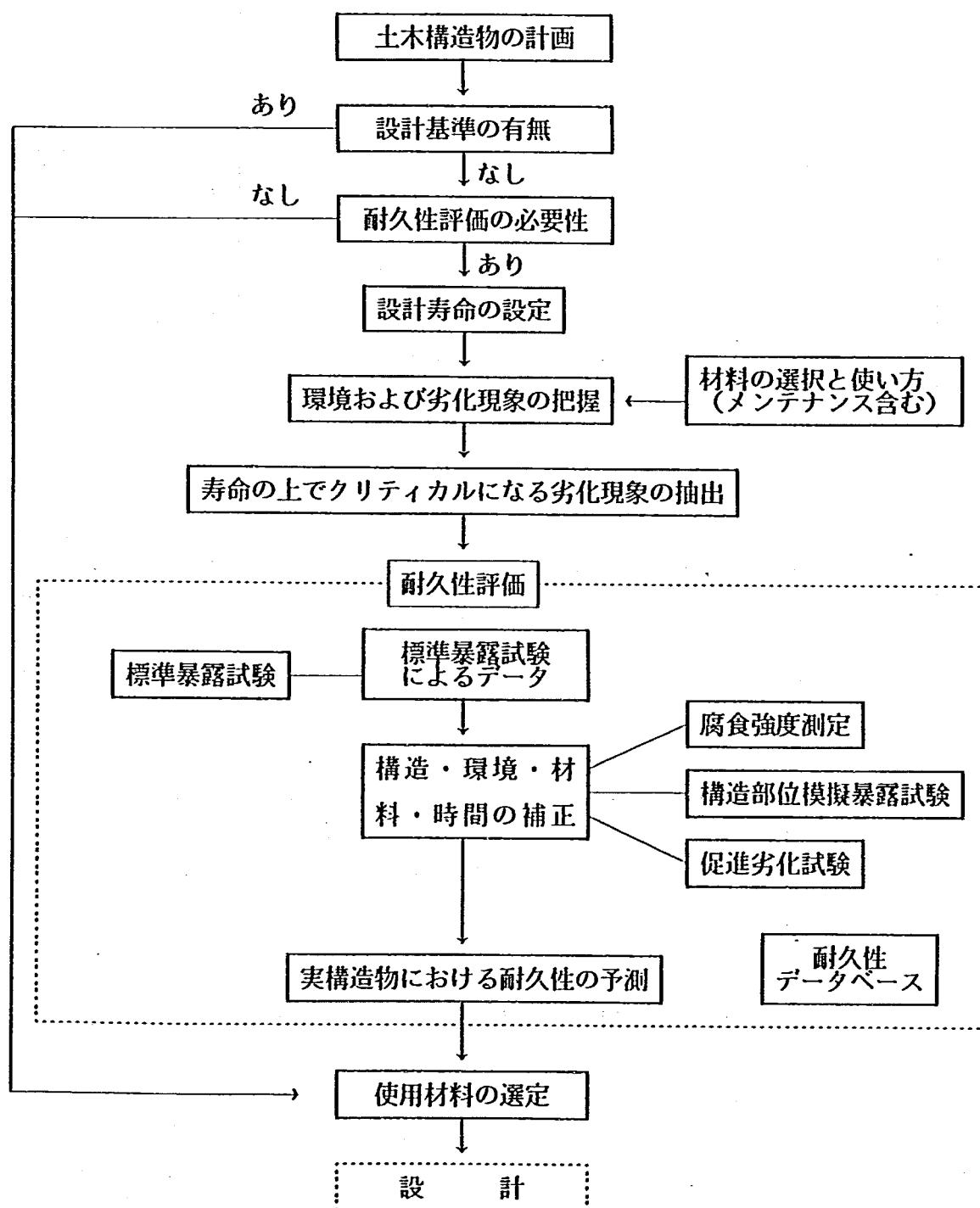


図 土木用金属系新素材の耐久性評価のフロー

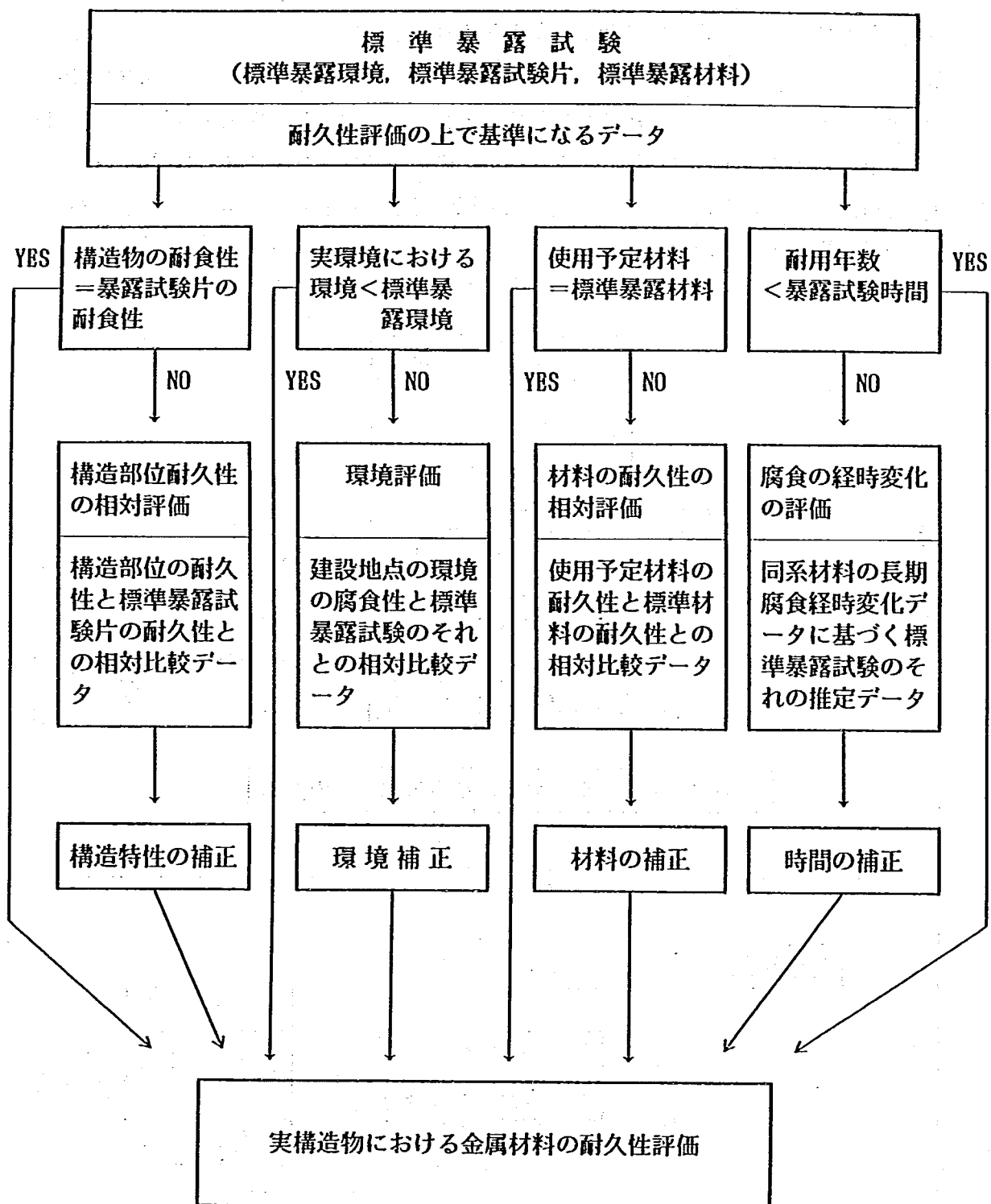


図 構造・環境・材料・時間による補正のフロー

(1)標準暴露試験

自然暴露試験を標準環境、標準材料、標準試験片を定めて、体系的に大規模に実施することにより、耐久性評価・寿命予測を行う上で基準となる、精度の良いデータを獲得することが重要である。

これは、促進試験では寿命評価の上で相対的なデータしか得られず、耐久性評価プロセスの中での基準的なデータになり得ないという問題点を解決するものである。

使用実績データは最も精度の良いデータになり得ると考えられるが、新素材では実績が浅いものがほとんどであり、有用なデータは少ない。また、シミュレーション試験による基準データの獲得が望まれるが、現在研究開発中であるので現実的でない。

標準自然環境としての暴露地を環境分類別に設定し、標準同系材料についての暴露試験を実施することが重要である。環境データについては、各種環境要因を測定し、標準暴露環境を精度良く評価することも重要である。

同じ自然環境でも構造部位により腐食状況を大きく異なるので、暴露試験においても構造部位を模擬した試験片を用いることも重要である。ただし、試験体数が膨大となりがちであるので試験の繁雑さを避けるために、構造部位および標準材料を限定する必要がある。

(2)各種要因による補正

標準暴露試験データを耐久性評価に直接使用するのでは、精度が悪いので、実際に材料の置かれる状況と標準暴露試験で材料が置かれた状況を比較し、相違点を吟味し、実際の使用環境における耐久性予測を行う。

環境、構造特性、材料、時間などの項目についての相違点を考慮することにより、耐久性予測の補正を行い、建設地点の自然環境における使用予定材料で構成した土木構造物の着目部位の長期の耐久性評価の精度を高めることが重要である。

これは、現状の問題点①環境因子と劣化との相関関係が定量的に解明されていないため、測定した実地自然環境の各種環境要因データにより、耐久性基準データを実地自然環境での耐久性データに補正することができない、②標準試験片による耐久性試験データでは構造物としての腐食特性を評価できない、③暴露試験において限定した標準同系材料のデータのみを得ることが現実的で、多様な材料の各データを得ることは繁雑である、を解決するためのものである。

①環境補正

環境補正にあたっては、建設地点の環境の腐食性と標準暴露試験のそれとの相対比較データが必要であり、このデータを獲得するための環境腐食性評価方法を確立する必要がある。

現地自然環境を各種環境要因ごとに測定し、標準暴露環境との比較を行い、環境の腐食強度の相対評価に用いる。将来は各種環境要因と耐久性との相関を定量的に把握でき

るように、データベースを構築してデータをそのシステムに保管してゆくことも重要である。

環境の腐食強度を総合的にかつ直接的に評価する方法として、同系の比較的耐食の材料を環境腐食強度測定用標準試験片として設定し、この試験片を現地自然環境で短期間暴露し、腐食データを得ることを考える。各標準自然環境下では、予め環境腐食強度測定用標準試験片の暴露試験を実施して、腐食データを得ておく。そして、実地自然環境の腐食データと、類似の標準自然環境の腐食データを比較することにより、実地自然環境の腐食強度を相対的に定量評価する方法を提案する。

②構造特定補正

構造特性の補正にあたっては、構造部位の耐久性と標準暴露試験片の耐久性との相对比较データが必要であり、このデータを獲得するための構造部位耐久性試験法を確立しなければならない。

一般的な構造部位の耐久性への影響評価にあたっては、暴露試験において標準試験片と構造部位模擬試験片の腐食データを相対的に定量評価することにより行う。

特殊な構造部位の耐久性への影響評価にあたっては、促進試験において標準試験片と構造部位模擬試験片の腐食データを相対的に定量評価することにより行う。その際、空間的な条件を模擬できる促進試験方法が必要である。

③材料補正

材料の補正にあっても、使用予定材料の耐久性と標準暴露材料の耐久性との相对比较データが必要であり、このデータを獲得するための材料耐久性比較試験方法を確立しなければならない。

例えばステンレスであれば、SUS304やSUS316などと代表的な数種の鋼種を標準材料として決めておく。そして、標準材料以外の新材料を採用する場合には、促進試験において、標準同系材料と実使用材料の腐食データを相対的に定量評価することにより材料補正を行う。

④時間補正

時間補正にあっても、腐食の経時変化を評価する。

(3)耐久性データベース

これらの耐久性評価システムの信頼性を向上させ、質を高めて行くためには、腐食データベースシステムを導入し、耐久性評価の支援に役立てる。また、データベース作成後はこれを随時充実させてゆくことが望まれる。

4. 2 暴露試験方法

4. 1 の耐久性評価システムの実施においては、各種の耐久性試験方法が必要となる。

(1) 『標準暴露試験方法』

『土木用金属系材料の標準暴露試験方法（案）』を作成した。主要な点は以下の通りである。

①環境の分類と暴露試験用の代表地点

大気、海洋、河川、下水、土の各環境を腐食の観点から分類し、必要最小限の暴露場所を提示する。合わせて暴露試験仕様も提示する。

②暴露試験のための標準材料

暴露試験を実施するにあたって、使用頻度が高く代表的な標準同系材料を提示する。

(2) 『土木環境評価方法』

①建設地点における環境腐食性の簡易測定方法の提案

暴露試験環境と実際の環境の腐食に与える影響を補間する目的で行なう。標準試験材として同系の使用頻度が高く代表的な標準同系材料を提示し、暴露試験を行う方法を、『土木構造物建設地点における環境腐食性の簡易測定方法〔暴露試験法〕（案）』を提案する。

②建設地点において測定すべき環境因子の提示

各用途に対して、腐食に関与する環境因子を影響度を含めて考察し、測定すべき環境因子を、『土木環境調査項目（案）』としてまとめた。

(3) 構造特性評価に関する提案

①構造部位模擬試験片による暴露試験方法の提案

構造特性を評価できる試験片形状、暴露試験方法をまとめ、『土木用金属系材料の構造部位暴露試験方法（案）』として提案する。

4. 3 促進劣化試験方法

実際に使用する材料と標準材料との耐食性を相対評価するために、実際の環境下での耐食性と順列が相違しない促進試験方法が必要とされている。

土木構造物に金属系新材料を用いる場合、標準暴露試験で用いた材料だけを使うわけではなく、より耐久性に優れた、あるいは他の優れた性能を有する同系材料を用いることも多いと思われる。しかし、新しい材料の採用が検討されるたびに、その新材料の大々的な暴露試験を行うことは、費用の面でも時間の面でも実用的でない。

ここでは、標準材料以外の同系材料の耐久性を評価する場合に、標準材料の暴露試験データをベースにして補間的に耐久性を評価する試験法として、促進試験方法の活用を提案する。すなわち、短期的に標準材料と新材料との耐久性比較データを得ることにより、標準暴露試験データを見直すという評価方法である。

そのためには、暴露試験による各材料間の耐久性比較データと促進試験による各材料間の耐久性比較データが、ほぼ同じでなければならない。すなわち、同系材料間では同じ促進倍率となる促進試験が必要となる。

4. 4 データベース

土木用金属系材料の耐久性に関するデータを蓄積することにより、土木構造物に用いる際の耐久性評価が容易になることが期待される。このようなファクトデータベースの構築について、登録用データの種類などについて検討を行った。

登録データとしては、材料データ、環境データ、試験・調査仕様データ、試験・調査結果データなどが挙げられる。

付 属 資 料

土木用金属系新素材の腐食に関する 耐久性予測方法（案）

1. 適用範囲

本試験方法は、土木用金属系新素材の腐食についての耐久性を予測する際に適用する。

2. 耐久性予測の手法

土木用金属系新素材の腐食についての耐久性予測は、下記のフローにより実施する。

また、図-1のうち補正の部分については、図-2のように行うものとする。

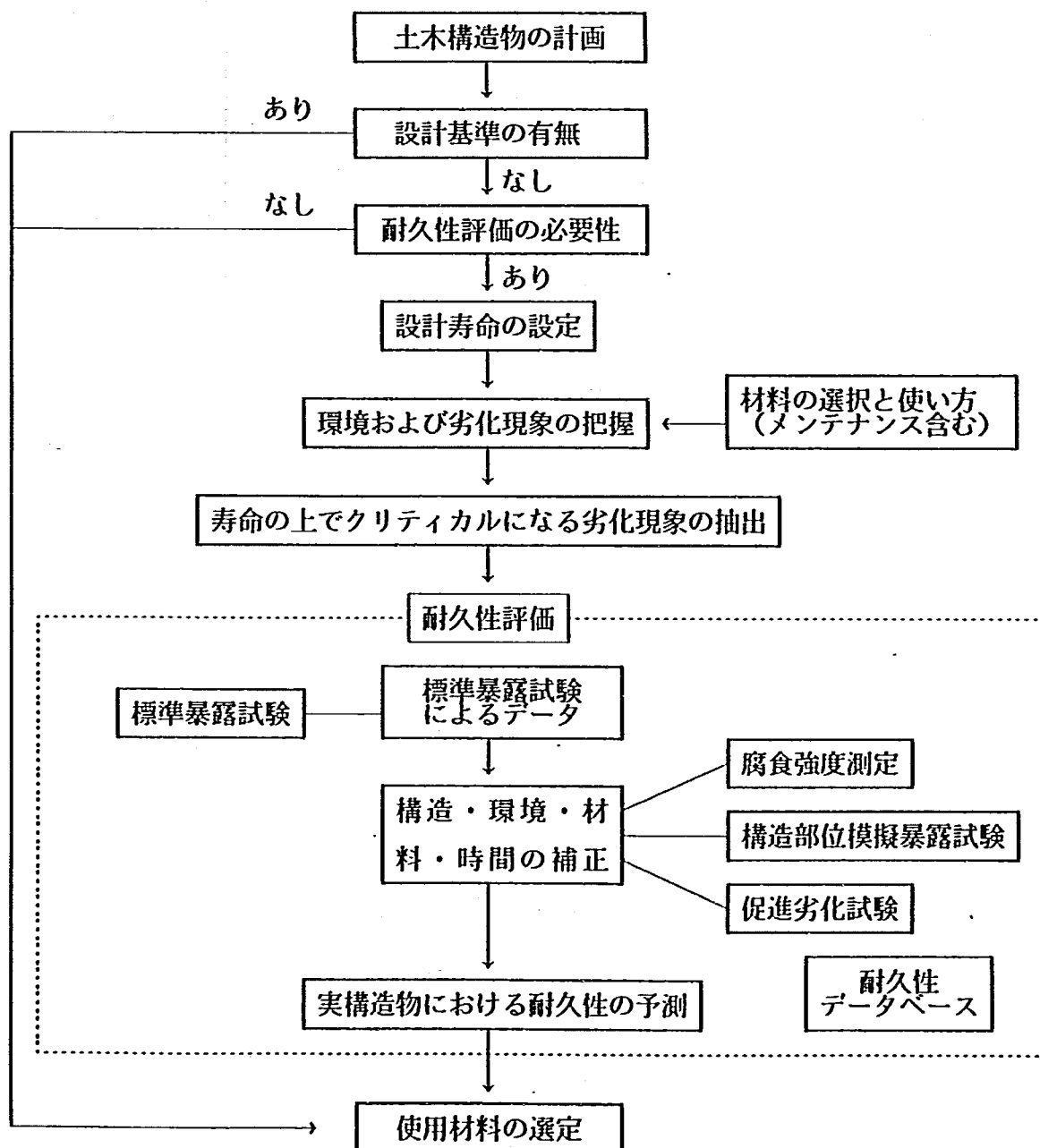


図-1 耐久性予測のフロー

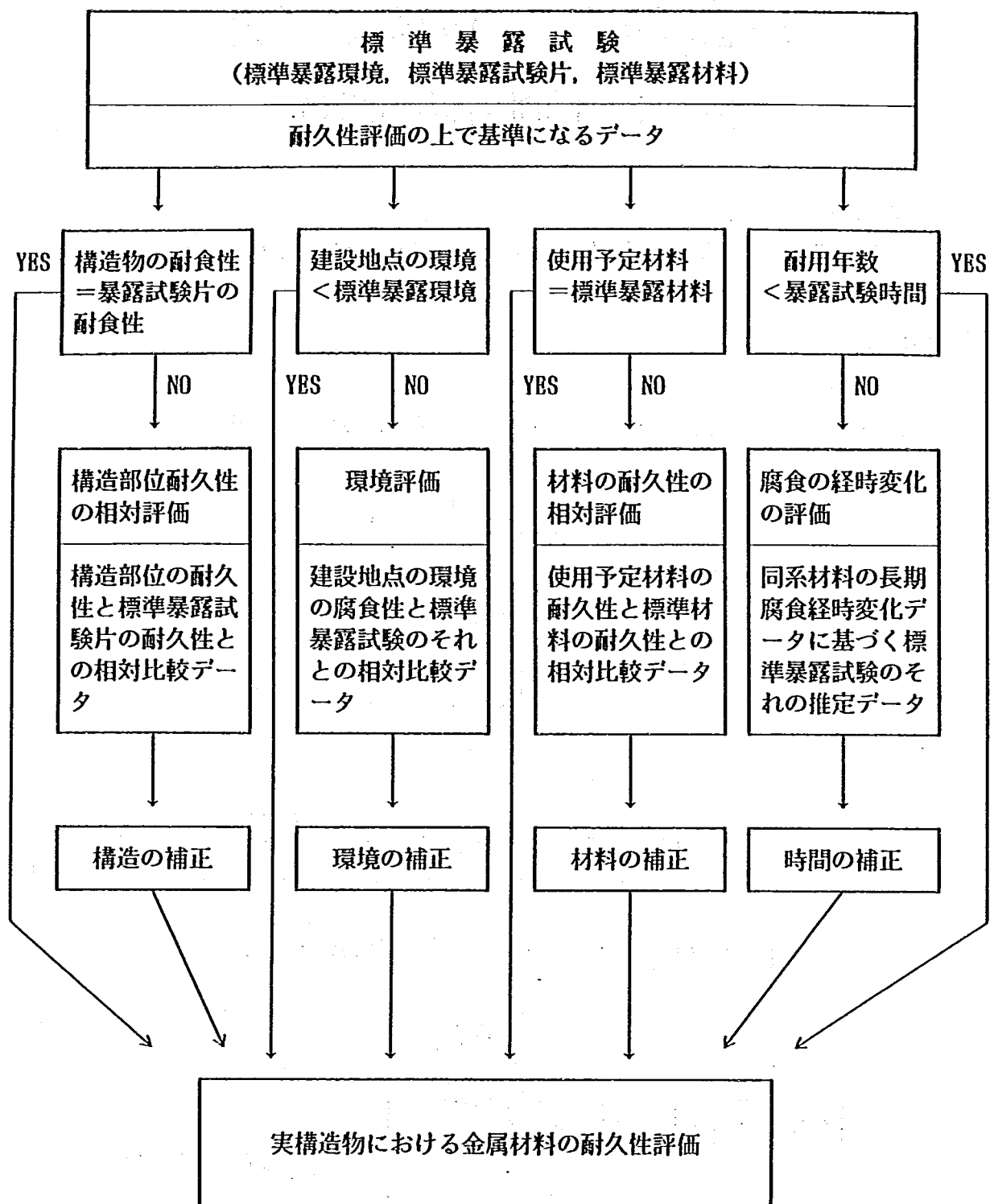


図-2 構造・環境・材料・時間補正のフロー

(解説)

新しい材料を土木構造物に利用しようとする際に、すでに材料選定を含んだ設計基準がある場合はそれを用いればよい。本『耐久性予測方法(案)』ではそのような設計基準がなくしかも耐久性評価が必要な場合の、耐久性評価方法を示すものである。

土木材料の耐久性の評価にあたっては、構造物のニーズを基に設計寿命の設定を行うことから行う。次に、材料の使い方・メンテナンスの方法などを考慮しながら、材料の置かれる環境と、予測される劣化現象を把握し、このなかから材料の寿命を決定する、材料全体で最もクリティカルと考えられる、耐久性評価の対象となる劣化現象を抽出する必要がある。以後の耐久性評価はここで抽出した劣化現象を対象とすることにより、土木材料全体の耐久性評価を行うことができる。

3. 標準暴露試験

3. 1 試験の概要

自然暴露試験を標準環境、標準材料、標準試験片を定めて、体系的に大規模に実施することにより、耐久性評価・寿命予測を行う上で基準となる、精度の良いデータを獲得するものである。

標準暴露試験は、促進試験では寿命評価の上で相対的なデータしか得られず、耐久性評価プロセスの中での基準的なデータになり得ないという問題点を解決するものである。

標準自然環境としての暴露地は、典型的な環境毎に最小限設定し、標準同系材料についての暴露試験実施する。環境データについては、各種環境要因を密度高く測定し、標準暴露環境を精度良く評価する。

同じ自然環境下でも構造部位により腐食状況を大きく異なるので、暴露試験においても構造部位を模擬した試験片を用いることも重要である。必要に応じて2種類以上の形状について暴露試験を実施することも推奨される。ただし、試験体数が膨大となりがちであるので試験の繁雑さを避けるために、構造部位および標準材料を限定する必要がある。

3. 2 試験の実施

標準暴露試験は『土木用金属系新素材の標準暴露試験方法(案)』に従い実施するものとする。

4. 各種要因による補正

標準暴露試験データを耐久性評価に直接使用するのでは精度が悪いので、実際に材料の置かれる状況と標準暴露試験で材料が置かれた状況を比較することにより相違点を吟味する。この補正により、建設地点の自然環境における使用予定材料で構成した土木構造物の着目部位の長期的耐久性を検討する。

補正の種類は下記のとおりである。

- ①環境補正
- ②構造特性補正
- ③材料補正
- ④時間補正

(解説)

補正は、現状の下記の問題点を解決するためのものである。

- ①環境因子と劣化との相関関係が定量的に解明されていないため、測定した実地自然環境の各種環境要因データにより、耐久性基準データを実地自然環境での耐久性データに補正することができない
- ②標準試験片による耐久性試験データでは構造物としての腐食特性を評価できない
- ③暴露試験において限定した標準同系材料のデータのみを得ることが現実的で、多様な材料の各データを得ることは繁雑である、を解決するためのものである。

4. 1 環境補正

建設予定の自然環境の各種環境要因を測定し、標準暴露環境との比較を行い、環境の腐食強度の相対評価を行う。このためには、建設地点の環境の腐食性と標準暴露試験のそれとの相対比較データが必要である。

環境の腐食強度を総合的にかつ直接的に評価する方法として、同系の比較的低耐食の材料を環境腐食強度測定用標準試験片として設定し、この試験片を現地自然環境で短期間暴露し腐食データを得る。また、各標準自然環境下では、予め環境腐食強度測定用標準試験片の暴露試験を実施して、腐食データを得ておく。そして、実地自然環境の腐食データと、類似の標準自然環境の腐食データを比較することにより、実地自然環境の腐食強度を相対的に定量評価するものである。

なお、実施にあたっては、『土木環境調査項目（案）』および『土木構造物建設地点における環境腐食性の簡易測定方法（案）』によるものとする。

また、将来は各種環境要因と耐久性との相関を定量的に把握できるように、データベースを構築してデータをそのシステムに保管してゆくことが望ましい。

4. 2 構造補正

一般的な構造部位の耐久性への影響評価にあたり、暴露試験において標準試験片と構造部位模擬試験片の腐食データを相対的に定量評価を行うものである。

特殊な構造部位の耐久性への影響評価にあたっては、促進試験において標準試験片と構造部位模擬試験片の腐食データを相対的に定量評価することにより行う。

構造特性の補正にあたっては、構造部位の耐久性と標準暴露試験片の耐久性との相対比較データが必要であり、このデータを獲得するための構造部位耐久性試験法を確立し

なければならない。

なお、実施にあたっては、「土木用金属系材料の構造部位暴露試験方法（案）」によるか、これを参考とした方法によることが望ましい。

4. 3 材料補正

使用予定材料の暴露試験によるデータがない場合は、使用予定材料と標準暴露試験の標準材料の耐久性を相対比較する、材料補正が必要となる。

標準材料以外の新素材を採用する場合には、促進劣化試験において、標準同系材料と実使用材料の腐食データを相対的に定量評価することにより、材料補正を行うものである。

なお、実施にあたっては、既存の促進劣化試験方法を用いるものとする。

4. 4 時間補正

土木用金属系新素材に期待する耐用期間が、暴露試験にて得られているデータよりも長い場合に、腐食の経時的变化を同系材料データにより推定するものである。

実施にあたっては、同系の材料について、長期的な暴露試験データが入手できる場合に、予測しようとする材料の将来の時間的变化が同様におきるものと仮定することにより行う。

5. 耐久性データベース

耐久性評価システムの信頼性を向上させ、質を高めて行くためには、腐食データベースシステムを導入し、腐食データベースによる耐久性評価の支援、および測定毎に腐食データベースを充実させてゆくことが望ましい。

データベースは、下記のような内容を含むものとする。

- ①材料データ
- ②環境データ
- ③試験・調査仕様データ
- ④試験・調査結果データ

土木用金属系新素材の標準暴露試験方法（案）

1. 適用範囲

本試験方法は、金属系土木用新素材を用いた土木構造物の耐久性を評価する際の、基準となるデータを得る目的で、体系的な暴露試験を行う際に適用する。

2. 暴露環境の区分

土木構造物は多種多様な自然環境にさらされるが、この自然環境を主要なものに種別すると以下ようになる。本試験方法では、以下のそれぞれについて、標準的な暴露試験方法を定めるものとする

- ・大気環境
- ・海洋環境（海中部、干満帯、飛沫帯、海上部）
- ・河川、湖水環境
- ・下水環境
- ・土中環境
- ・その他（コンクリート中など）

（解説）

分類にあたっては、まず腐食のメカニズムの考察の上に立って細分類を行い、次にそれらを以下の点に配慮して絞り込み、暴露地点を決めた。

①日本中を3～5つの環境分類に括る。

②特殊な環境はこの環境分類から除外し、個別に評価するものとする。

③分類環境の中でもできるだけ厳しいと考えられる腐食環境に暴露地点を選ぶ。

この中で、①②は実際の運用を考えての留意点である。また、③は、建設地点の環境に比べてより厳しい腐食環境の標準暴露試験データを転用することにより、建設地点の環境腐食強度を安全側で評価できるように配慮したものである。

3. 大気環境

3. 1 暴露環境

大気環境における暴露環境の標準的な環境分類と、その代表的な地点は、以下に示す通りである。大気中では飛来塩分量が大きく影響するため、暴露環境選定においてはこれに着目する必要がある。

(環境分類)	(代表地点)
*亜熱帯沿岸環境	沖縄沿岸部
*日本海側積雪環境（塩害地帯など）	新潟、山形、秋田
*温暖都市交通環境	東京都心
・温暖沿岸環境	静岡沿岸部
・寒冷積雪環境	北海道（札幌、陸別など）
・温暖工業海岸環境	大阪湾など
・温暖工業環境	名古屋市など
・温暖田園環境	つくば市など

（*印はなかでも特に代表的な環境）

3. 2 環境測定項目

気象観測、劣化因子観測は実施することが望ましい。測定すべき気象観測項目、劣化因子は、主要な劣化因子とそれに関係があると考えられる気象項目である。

標準的な気象・劣化因子測定項目としては、下記のものが挙げられる。

- ・気温（1時間時値）
- ・相対湿度（1時間時値）
- ・日射量（暴露期間積算）
- ・紫外線量（暴露期間積算）
- ・降雨量
- ・風速（平均）
- *飛来塩分量（月当り）（原則として1年間は継続して測定する。）
- *ぬれ時間・降水時間

（*は特に重要な環境測定項目）

3. 3 供試体

供試体は、土木用途に用いるそのままの形を用いるか、これが大きすぎる場合には、これから切り取った供試体を使用することを原則とする。

また特に対象構造物が明確でない場合や、質量測定などを行うために小型供試体を用い

る場合には、200×100×1~5 mmまたは実用材料に近い厚さの平板を標準形状とする。なおこの場合は、同種の材料で大きさが異なる2種類以上の供試体を用いるのが良い。

(解説)

供試体の形状は金属材料の腐食しやすさに影響を与え、一般に面積・大きさが大きいほど孔食深さは大きくなるため、一概に形状を決めずに、必要に応じて任意の形状の供試体を用いることができるものとする。

3. 4 暴露方法

暴露の方法は、土木用金属系新素材が実際に使用されるのと、ほぼ同じ条件になるように行うが、条件にばらつきが考えられる場合は、もっとも厳しいと考えられる条件を選ぶのが原則である。

J I S Z 2 3 8 1に規定する直接暴露試験を標準とする。

水平面に対して5° または90° (南向き)を標準的な角度とする。ただし従来の試験は30~45°で行われたデータの蓄積が多く、これらのデータとの比較を行うため、従来の方法による暴露試験も並行して行うことが望ましい。

供試体は堅牢な暴露装置などを使用して、堅固にとりつけるものとする。

4. 海洋環境 (海中部、干満帯、飛沫帯、海上部)

4. 1 暴露環境

海洋環境にはほぼ常時海水に没している海中部、潮の影響を受ける干満帯、波しぶきの影響をうける飛沫帯、通常の大気部分に近い海上部に分類できるが、これらのそれぞれについて、海岸あるいは海上施設を用いて暴露試験を行うことができる。海洋環境における暴露環境の標準的な環境分類と、その代表的な地点は、以下に示す通りである。

(環境分類)	(代表地点)
*亜熱帯清浄海域	沖縄県 近海
*温暖汚染海域	東京湾 沿岸部
・温暖清浄海域	静岡県 近海
・寒冷清浄海域	
・温暖河口海域	
・寒冷河口海域	

4. 2 環境測定項目

標準的な気象・劣化因子測定項目としては、下記のものが挙げられる。

・ DO	* 潮位
* BOD	* 気温
・ COD	・ SS分
・ SO ₄ 濃度	・ NH ₄ ⁺
・ Cl 濃度 (淡海水混合)	・ NO ₃ ⁻
・ 電気伝導度	・ H ₂ S
・ pH	* 生物付着
* 流速	・ その他
* 水温	

(解説) 生物付着の有無はすきま腐食の大きな原因となるので、重要な項目である。

4. 3 供試体

供試体は、土木用途に用いるそのままの形を用いるか、これが大きすぎる場合には、これから切り取った供試体を使用することを原則とする。

また特に対象構造物が明確でない場合や、重量測定などを行うために小型供試体を用いる場合には、200×100×1~5 mmまたは実用材料に近い厚さの平板を標準形状とする。なおこの場合は、同種の材料で大きさが異なる2種類以上の供試体を用いるのが良い。

4. 4 暴露方法

海上部については、JIS Z 2381に規定する直接暴露試験を標準とする。

海中部については、JIS Z 2381に規定する浸漬暴露試験を標準とする。

干満帯・飛沫帯については、海岸あるいは海上施設をもちいてそれぞれに適合する環境に供試体を取りつけるものとする。波の力を強くうけることがあるので、特に強固にとりつける必要がある。取付けには取付け架台との絶縁のためのスペーサーを用いるものとし、供試体の角度は0°または90°を標準とする。

5. 河川・湖水環境

5. 1 暴露環境

河川・湖水環境には用途に応じて、完全な没水部分の他に、水面に接したり背面が水に接した結露しやすい部分、間欠的に没水する部分、などがある。

河川・湖水環境における暴露環境の標準的な環境分類と、その代表的な地点は、以下に示す通りである。

(環境分類)	(代表地点)
*一般河川・湖水	七ヶ宿ダム湖
*汚染河川・湖水	釜房ダム湖（高BOD）
*干潮河川・湖水	紀の川下流域
*酸性河川・湖水（塩酸酸性）	玉川ダム湖
・酸性河川・湖水（硫酸酸性）	

5. 2 環境測定項目

標準的な気象・劣化因子測定項目としては、下記のものが挙げられる。

・ DO	・ 潮位
・ BOD	・ 流速
・ COD	・ 水温
・ SO ₄ 濃度	・ 気温
・ Cl 濃度	・ 水位
・ SS	・ 色
・ 総窒素	・ 臭気
・ 総リン	・ 透明度
・ 電気伝導度	・ 透視度
・ pH（Alでは特に重要）	・ その他

5. 3 供試体

供試体は、土木用途に用いるそのままの形を用いるか、これが大きすぎる場合には、これから切り取った供試体を使用することを原則とする。

また特に対象構造物が明確でない場合や、重量測定などを行うために小型供試体を用いる場合には、200×100×1~5 mmまたは実用材料に近い厚さの平板を標準形状とする。なおこの場合は、同種の材料で大きさが異なる2種類以上の供試体を用いたのが良い。

5. 4 暴露方法

常時没水部分についてはJIS Z 2381に規定する浸漬暴露試験を標準とする。

結露しやすい部分については、間欠的に没水する条件を選ぶか、実構造物を模型化して結露しやすい条件をつくった暴露試験を行うことが望ましい。なおこの場合には、『土木用金属系新素材の構造部位暴露試験方法（案）』によることとする。

6. 下水環境

6. 1 暴露環境

下水環境における暴露環境の標準的な環境分類と、その代表的な地点は、以下に示す通りである。

- ・公共下水道
- ・流域下水道
- ・雨水池

6. 2 環境測定項目

標準的な気象・劣化因子測定項目としては、下記のものが挙げられる。

・ DO	・ 水温	下水雰囲気
・ BOD	・ 気温	・ CO ₂ 濃度
・ COD	・ 水位	・ H ₂ S 濃度
・ SO ₄ 濃度	・ 色	・ NH ₃ 濃度
・ Cl 濃度	・ 臭気	・ SO _x 濃度
・ SS	・ 透明度	・ Cl ₂ 濃度
・ 総窒素	・ 透視度	・ メタン濃度
・ 総リン	・ NH ₄ 濃度	
・ 電気伝導度	・ PO ₄ 濃度	
・ pH	・ NO ₃ 濃度	
・ 流速	・ その他	

6. 3 供試体

供試体は、土木用途に用いるそのままの形を用いるか、これが大きすぎる場合には、これから切り取った供試体を使用することを原則とする。

また特に対象構造物が明確でない場合や、重量測定などを行うために小型供試体を用いる場合には、200×100×1~5 mmまたは実用材料に近い厚さの平板を標準形状とする。なおこの場合は、同種の材料で大きさが異なる2種類以上の供試体を用いたのが良い。

6. 4 暴露方法

下水に面した大気中の暴露試験においては、大気環境と同じ方法によるものとする。

7. 土中環境

7. 1 暴露環境

土木構造物が接する土は、トンネル内壁・打ち込み杭などの場合の他は埋め戻し土が多い。

埋め戻し土は砂、山砂、良質土に分類される。これに周辺の地下水の状況と水質が腐食に関与する。主な土質の分類とその代表的な地点は以下のとおりである。

(土質分類)	(代表地点)
・山砂	千葉県 木更津
・海砂	静岡県 御前崎
・造成地	東京都 多摩丘陵
*埋立地	千葉県 幕張
・火山灰土壌(関東ローム)	東京都 武蔵野
・酸性硫酸塩土壌	島根県 揖屋干拓地
・鉍滓土壌	栃木県 足尾
・泥炭土	北海道
・下水処理場土	東京都 芝浦

7. 2 環境測定項目

標準的な気象・劣化因子測定項目としては、下記のものが挙げられる。

*土質分類	・土壌比抵抗
*地下水	・イオン分
*迷走電流	・pH
*土質の不均一	・REDOX電位
・土の履歴	・含水量
・色	・硫化物
・鉄分	・Cl濃度(スレンスにとって最大の因子)
・有機質	・SO ₄ 濃度

7. 3 供試体

供試体は、土木用途に用いるそのままの形を用いるか、これが大きすぎる場合には、これから切り取った供試体を使用することを原則とする。

また特に対象構造物が明確でない場合や、重量測定などを行うために小型供試体を用いる場合には、200×100×1~5 mmまたは実用材料に近い厚さの平板を標準形状とする。な

おこの場合は、同種の材料で大きさが異なる２種類以上の供試体を用いたのが良い。

7. 4 暴露方法

埋設深さは実構造物と同じ深さとするが、未定の場合は m を標準とする。隣合う試験片との間隔は 300 mm 以上とする。埋め戻しは発生土で行う。

試験片の掘上げは、腐食生成物を落下させたり、試験片に損傷を与えたりしないように慎重に行う。試験片埋設の際、目の粗い、試験片より十分大きいナイロンネットの中に埋設するのも良い。

電気化学的モニタリングを併用するときは、異種金属接触腐食、隙間腐食に注意してリード線を取り出し、適切な絶縁を施して、ターミナルボックスへ導く。

各試験片には識別の為の標識をつけるとともに、埋設箇所の正確な地図を残す。

同一時期に掘上げるものをナイロンロープなどでグルーピングし、末端に木杭を結びつけておくと良い。木杭が立てられていない時は、金属プレートに結び付けて埋設し、金属探知機で捜し出す方法をとると良い。

8. 標準暴露材料

下表の材料による供試体を標準暴露材料とする。

環境種別	ステンレス	アルミニウム	チ タ ン
大 気	430, 304, 316	5052, 6063	TP-28
海 洋	316	5052, 6063	TP-28
河 川	304, 316	5052, 6063	TP-28
下 水	304, 316	5052, 6063	TP-28
土 中	304, 316	5052, 6063	TP-28

(解説)

標準暴露材料としては、各環境に適用される一般的な材料が選ばれる必要がある。種類はできる限り絞り込み、同系材料で 1～3 種類とする。

土木用金属系新素材の 構造部位暴露試験方法（案）

1. 適用範囲

本試験方法は、材料が土木構造物を構成したとき、各部位において形状、寸法、向き、組合せ等により生ずる、標準暴露試験片とは異なる構造物特有の環境を、模擬的に試験する際に適用する。

（解説）

材料が部材・構造物を構成したとき、各部位における材料は、部材・構造物の形状、寸法、向き、組合せ等により、標準暴露試験片とは異なる構造物特有の環境にさらされることになる。『標準暴露試験方法』においても、構造物のさらされる実際の環境条件に近付けるために、従来の南30°傾斜暴露のほかに水平面から0°、90°傾斜させた暴露仕様を追加した。ここでは、この構造物の作る環境の模擬という考え方をさらに進め、各用途ごとの構造物の耐久性評価を検討対象として、耐久性評価項目を考慮しつつ、構造部位のおかれる環境を模擬できる暴露試験片の形状・寸法を提案したものである。

この暴露試験は、規模がやや大きくなるので、必要最小限の費用で構造物特性を評価できるデータを得ることが重要である。そのために検討にあたっては以下の点に留意した。

- ・検討対象とする用途は限定されているが、他の構造物の評価にも使えるできる限り汎用的な試験体であること。

また、暴露試験の数量に関しては、基本的には次の仕様とした。

- ・暴露材料は同系材料で1種類とする。
- ・暴露試験地は1地点とする。その際、より厳しい腐食環境が望ましい。

これは、この試験の目的が、得られたデータを標準暴露試験データと比較することを通じて、構造物特性、すなわち各部位の耐久性の定量的比較データを得ることにあるので、上記の仕様で十分と考えた。

2. 試験の種類

本試験方法では用途に応じた暴露方法を示すものであるので、土木用金属系新素材の用途の例を挙げてこれに対応した試験方法を示す。なお、これ以外の構造については、本試験方法を参考に任意の構造を模擬した試験を考案し実施することが望まれる。

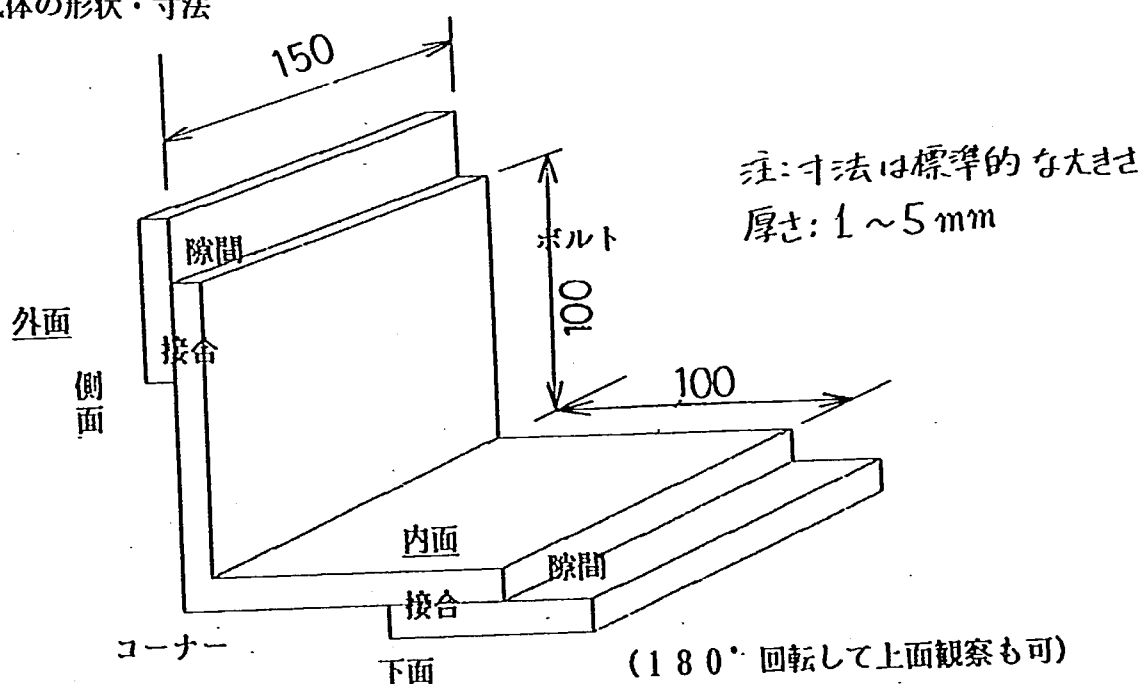
（1）桁カバーの構造暴露試験方法

- (2) 下水道施設の構造暴露試験方法
- (3) 土中埋設設備の構造暴露試験方法
- (4) 高欄・防護柵の構造暴露試験方法
- (5) ダムゲート・水門の構造暴露試験方法

3. 桁カバーの構造暴露試験方法

- (1) 構造部位：外面（上面，側面，下面，コーナー部）
 内面（上面，側面，下面，コーナー部）
 接合部（異種金属との接触，隙間）

(2) 供試体の形状・寸法



(3) 評価項目

- ① 桁カバー外側下面の腐食
- ② 桁カバー外側コーナー部の腐食
- ③ 桁カバー内面の腐食
- ④ ボルト接合部の隙間腐食
- ⑤ ボルト接合部の異種金属接触腐食
- ⑥ 桁カバー外面の汚れ
- ⑦ 接着剤の劣化

(4) 評価内容

- ① 各部の外観観察，カラー写真撮影
- ② 各部の腐食深さ測定
- ③ 異種金属との接触腐食調査
- ④ 隙間腐食調査

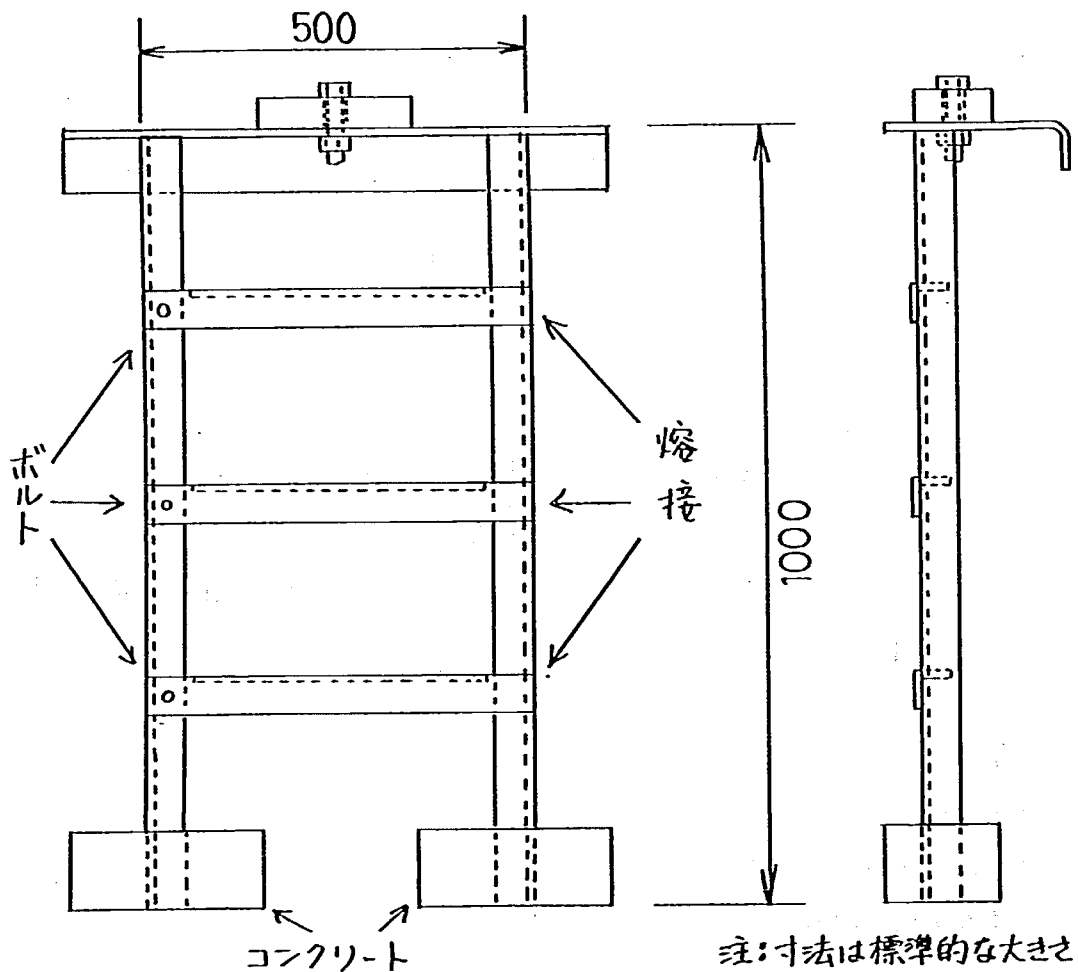
4. 下水道施設（貯水槽、蓋、手摺等）

（1）耐久性評価項目

（環境）	（構造部位）	異材：コンクリート
液相	壁面、底部、接合部（すきま、異材、溶接）	
気液界面	壁面、接合部（すきま、異材、溶接）	
気相	壁面、天井、接合部（すきま、異材、溶接）	

（2）供試体の形状・寸法

ステンレス鋼（SUS304）、アルミニウム合金（A6063-T5）およびチタン（TP28）からなる、市販の板材を切断、曲げ加工、溶接して図のような試験片を作製する。実構造物が隙間部を有する時は、図のような隙間模擬部を設ける。



（3）耐久性評価項目

＊貯水槽

- ①内面底の腐食
- ②内面側面水面部の腐食
- ③内面側面大気部の腐食
- ④外側の腐食（土に接する場合）

*蓋

①下面の腐食

②上面の腐食

③下面溶接部の腐食

*手摺り

①一般部の腐食

②溶接部の腐食

③手摺柱の最下部（水の溜まりやすい部分）の腐食

④手摺柱の高分子材料埋め込み部の腐食

（４）評価内容

外観状況、写真記録

付着物

腐食割れの有無

侵食深さ

位置（環境条件）との関係

構造との関連性

5. 下水道施設（土中埋設設備）

（１）耐久性評価項目

（環境）

（構造部位）

土層

垂直方向

自由面、すきま、接合部（継手、溶接）、コンクリート接触

（酸素、水分）

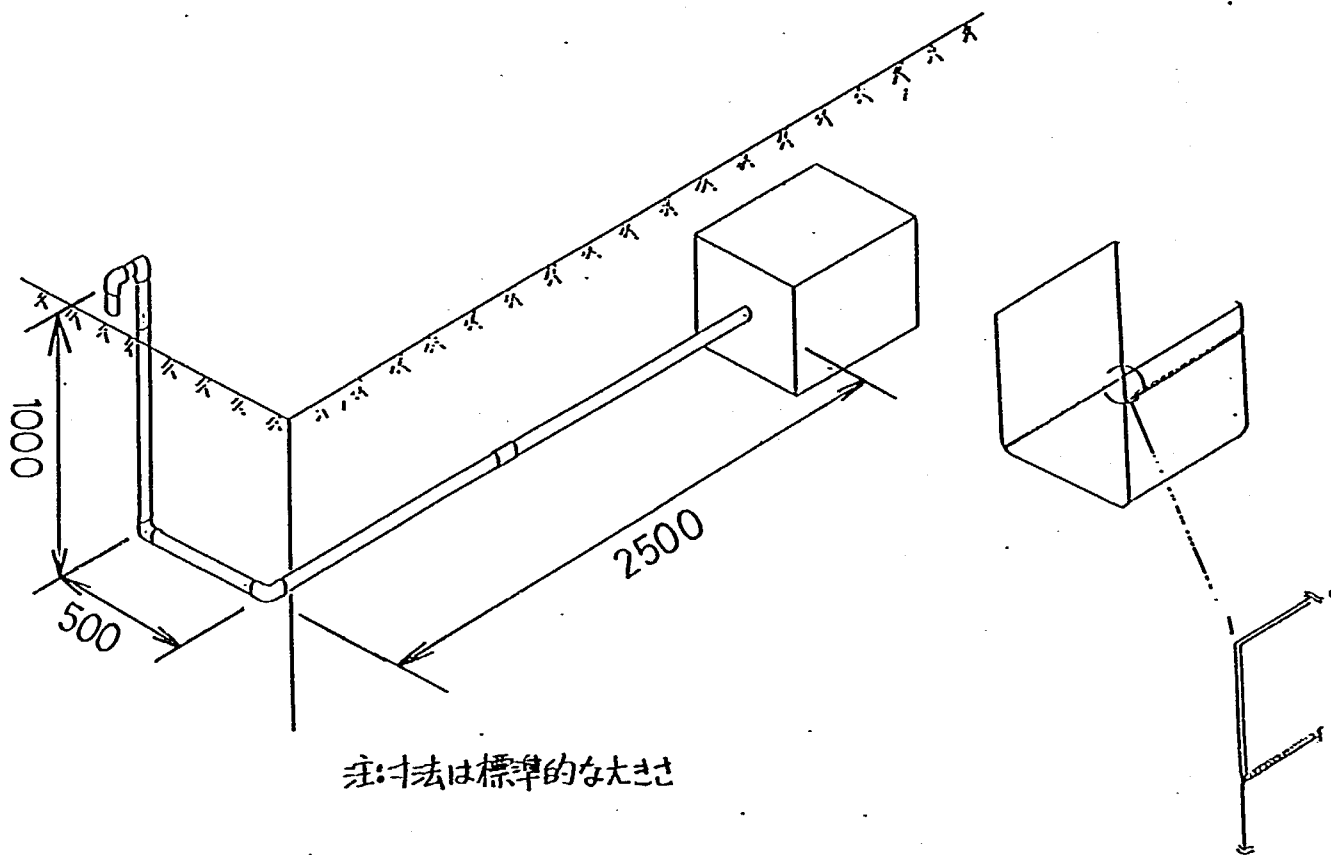
特定位置（深さ）水平方向

自由面、すきま、接合部（継手、溶接）、コンクリート接触

継手：エルボ、直管

（２）供試体形状・寸法

ステンレス鋼（SUS304）、アルミニウム合金（A6063-T5）およびチタン（TP28）からなる、市販の管材（内径50mm、長さ4000mm）と圧縮型継手・溶接継手で、図のような配管系を構成し、内面の腐食を防止するため、両端をキャップでシールする。実構造物がコンクリート貫通部を有するときは、図のような模擬試験体部を挿入する。



(3) 評価内容

外観状況, 写真記録

腐食割れの有無

侵食深さ

位置 (環境条件) との関係

構造との関連性

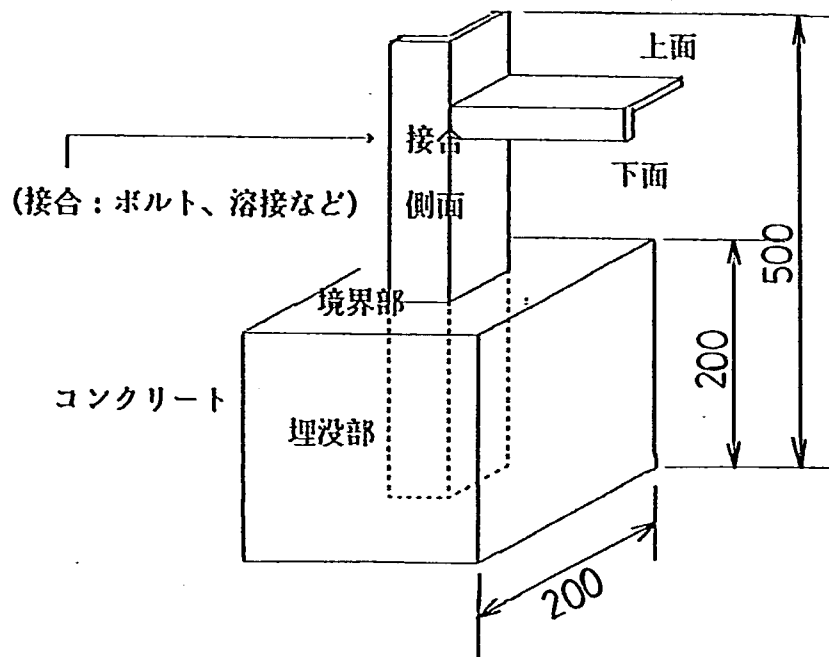
試験地 (土質の選択)

6. 高欄、防護柵

(1) 耐久性評価項目

- ①一般部の腐食
- ②溶接部の腐食
- ③手摺柱の最下部（水の溜まり易い部分）の腐食
- ④手摺柱の高分子材料埋め込み部の腐食
- ⑤接続部の隙間腐食
- ⑥溶接部の粒界腐食

(2) 供試体



注: 寸法は標準的な大きさ

(3) 評価内容

- ①各部の外観観察, カラー写真撮影
- ②各部の腐食深さ測定
- ③異種金属との接触腐食調査
- ④隙間腐食調査
- ⑤コンクリート埋設部（完全埋設部, 大気との境界部）の腐食調査

7. ダムゲート、水門

(1) 耐久性試験項目

- ①水中一般部の腐食
- ②大気中一般部の腐食
- ③水中・大気中繰り返し部分の腐食
- ④放流管内面の腐食（流れ）
- ⑤異種金属接触腐食
- ⑥コンクリートとの取り合い部分のアルミの腐食
- ⑦溶接部の腐食（粒界腐食）

エロージョン・コロージョン，ゲート，戸あたり，摺動部

土木環境調査項目（案）

1. 適用範囲

土木環境は多種多様であり、例えば、温暖沿岸地域の大気環境といっても、環境因子の数値には大きな幅がある。本方法は、建設地点において土木構造物がさらされる環境が、耐久性の上で標準暴露地点と比較してどの程度厳しいものかを評価する際に適用する。

2. 建設地点における環境因子測定項目

建設地点の環境の腐食性を評価するにあたって、標準暴露試験データとの対応をとるために最小限測定すべき環境因子は、環境の種類毎に示すものを標準とする。

建設地点で測定した環境因子が標準暴露試験地の環境因子と比べて同等もしくはそれ以下の環境腐食性を示していた場合には、標準暴露試験による耐久性データが建設地点での耐久性評価に転用できることとする。

（1）大気環境

- ・飛来塩分量（年間値，沿岸地域のみ）
- ・SO_x濃度（年間平均値，都市部・工業地域のみ）
- ・降水量 [気象庁データを使用可能]
- ・気温（平均，最低，最高） ["]
- ・湿度（平均，最低，最高） ["]
- ・天候の年間統計値 ["]
- ・ぬれ時間

（2）海洋環境

- ・DO
- ・Cl濃度
- ・pH
- ・流速
- ・水温

(3) 河川環境

- ・ DO
- ・ BOD
- ・ SO_4^{2-} 濃度
- ・ Cl^- 濃度
- ・ pH
- ・ 流速
- ・ 水温

(4) 下水環境

①下水中

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ・ DO | ・ SS成分 |
| ・ BOD | ・ PO_4^{2-} 濃度 |
| ・ pH | ・ NO_3^- 濃度 |
| ・ NH_4^+ 濃度 | ・ 流速 |
| ・ SO_4^{2-} 濃度 | ・ 水温 |
| ・ Cl^- 濃度 | |

②下水雰囲気

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| ・ メタン | ・ SO_x 濃度 |
| ・ CO_2 濃度 | ・ Cl_2 濃度 |
| ・ H_2S 濃度 | ・ 流速 |
| ・ NH_3 濃度 | ・ 気温 |

③下水施設壁面

- ・ 微生物の種類
- ・ pH
- ・ SO_4^{2-} 濃度

(5) 土中環境

- | | |
|---------|---------------------|
| ・土質分類 | ・土壌比抵抗 |
| ・地下水 | ・イオン分 |
| ・迷走電流 | ・pH |
| ・土質の不均一 | ・REDOX電位 |
| ・土の履歴 | ・含水量 |
| ・色 | ・硫化物 |
| ・鉄分 | ・Cl濃度 |
| ・有機質 | ・SO ₄ 濃度 |

土木構造物建設地点における環境腐食性の 簡易測定方法〔暴露試験法〕（案）

1. 適用範囲

土木構造物の建設予定地点の複合的環境による腐食性を、短期間の暴露試験により簡易に測定する場合に適用する。この方法は『土木用金属系新素材の耐久性予測方法（案）』にある、環境補正を行う目的で実施されるものである。

（解説）

建設地点の環境腐食性が標準暴露試験地の環境腐食性に比べて強い場合には、標準暴露試験データをそのまま建設地点の耐久性評価に転用することは危険である。しかし、両地点の環境因子を比較することにより、標準暴露試験データより建設地点での環境腐食性を推定することは難しい。これは、腐食に関与する環境因子が多岐に渡るのに加え、これらの環境因子が腐食に複合的に関与するため、環境と腐食との相関関係を定量化できないためである。よって、ここでは、建設地点の複合的環境の腐食性を標準暴露試験データに基づき総合的かつ直接的に評価する方法として、建設予定地における短期暴露試験による環境腐食性の簡易測定方法を提案した。

建設予定地における暴露試験は、通常、計画、設計時から使用材料の選定時まで余り時間がないので、短期間で結果の出る試験内容にしなければならない。そのために、暴露試験材としては、使用予定の材料と同系で腐食機構が同一であり、使用頻度が高く代表的な材料を選ぶべきである。暴露試験方法は、『標準暴露試験方法』に準拠するものとする。

それぞれの標準暴露地点では、標準材料と共に、この環境腐食性測定用の低耐食材料の暴露試験を長期間実施しておき、予め耐久性データを得ておくことが望ましい。

2. 試験方法の種類

2. 1 試験方法の選択

建設予定の環境に応じて、下記の試験方法から適切なものを選び実施する。

- （１）大気環境の腐食性測定方法
- （２）海洋環境の腐食性測定方法
- （３）河川環境の腐食性測定方法
- （４）下水環境の腐食性測定方法
- （５）土中環境の腐食性測定方法

2. 2 使用材料一覧

環境種別	ステンレス		アルミニウム		チタン	
	環境測定用	標準材料	環境測定用	標準材料	環境測定用	標準材料
大 気	430	304, SS400	1100	5052, 6063		TP28
海 洋	430, 304	316, SS400	1100	5052, 6063		TP28
河 川	430	304, SS400	1100	5052, 6063		TP28
下 水	430	304, SS400	1100	5052, 6063		TP28
土 中	430	304, SS400	1100	5052, 6063		TP28

チタンに関しては、チタンの早期腐食劣化が期待できない場合が多いため、建設地点の環境が標準暴露地点と著しく異なるなど、建設地点における環境腐食性を評価する必要がある場合には、ステンレス材料の結果を代替することができる。

3. 大気環境の腐食性測定方法

3. 1 材料

普通鋼 S S 4 0 0
 ステンレス鋼 S U S 3 0 4
 S U S 4 3 0
 アルミニウム合金 1 1 0 0, 5 0 5 2

3. 2 試験片

100×200mm 厚さ1～5mm

アセトン洗浄後、秤量、寸法計測、識別標識をつける。

3. 3 暴露試験

垂直暴露2～3枚、水平暴露2～3枚を1ユニットとする。暴露方法は『標準暴露試験方法』による。評価は1年間またはそれ以上の暴露による。1年以上暴露する際は毎年1ユニットづつ回収して変化を調べる。評価は、表面観察、重量減少測定、最大腐食深さ測定による。

3. 4 表面観察

腐食生成物を落とさない様に水洗し、乾燥後、カラー写真撮影する。

3. 5 重量減少測定

表面観察後、必要に応じカソードチャージによる腐食生成物除去を行い、アセトン洗浄（超音波洗浄器使用）、乾燥後、秤量する。（ASTM G1）

3. 6 最大腐食深さ測定

重量減少測定に引き続き、デプスゲージ、表面粗さ計、読み取り顕微鏡などを用いて最大腐食深さを測定する。（ASTM G46）

4. 海洋環境の腐食性測定方法

4. 1 材料

普通鋼	SS400
ステンレス鋼	SUS304
	SUS316
	SUS430
アルミニウム合金	1100, 5052

4. 2 試験片

100×200mm 厚さ1～5mm

アセトン洗浄後、秤量、寸法計測、識別標識をつける。

4. 3 暴露試験

垂直暴露2～3枚を1ユニットとする。暴露方法は『標準暴露試験方法』による。評価は1年間またはそれ以上の暴露による。1年以上暴露する際は毎年1ユニットずつ回収して変化を調べる。評価は、表面観察、重量減少測定、最大腐食深さ測定による。

4. 4 表面観察

腐食生成物を落とさない様に水洗し、乾燥後、カラー写真撮影する。

4. 5 重量減少測定

表面観察後、必要に応じカソードチャージによる腐食生成物除去を行い、アセトン洗浄（超音波洗浄器使用）、乾燥後、秤量する。（ASTM G1）

4. 6 最大腐食深さ測定

重量減少測定に引き続き、デプスゲージ、表面粗さ計、読み取り顕微鏡などを用いて最大腐食深さを測定する。（ASTM G46）

5. 河川環境の腐食性測定方法

5. 1 材料

普通鋼	SS400
ステンレス鋼	SUS304
	SUS430
アルミニウム合金	1100, 5052

5. 2 試験片

100×200mm 厚さ1～5mm

アセトン洗浄後、秤量、寸法計測、識別標識をつける。

5. 3 暴露試験

垂直暴露2～3枚を1ユニットとする。暴露方法は『標準暴露試験方法』による。評価は1年間またはそれ以上の暴露による。1年以上暴露する際は毎年1ユニットずつ回収して変化を調べる。評価は、表面観察、重量減少測定、最大腐食深さ測定による。

5. 4 表面観察

腐食生成物を落とさない様に水洗し、乾燥後、カラー写真撮影する。

5. 5 重量減少測定

表面観察後、必要に応じカソードチャージによる腐食生成物除去を行い、アセトン洗浄（超音波洗浄器使用）、乾燥後、秤量する。（ASTM G1）

5. 6 最大腐食深さ測定

重量減少測定に引き続き、デプスゲージ、表面粗さ計、読み取り顕微鏡などを用いて最大腐食深さを測定する。（ASTM G46）

6. 下水環境の腐食性測定方法

6. 1 材料

普通鋼	SS400
ステンレス鋼	SUS304
	SUS430
アルミニウム合金	1100, 6063

6. 2 試験片

100×200mm 厚さ1～5mm

アセトン洗浄後、秤量、寸法計測、識別標識をつける。

6. 3 暴露試験

垂直暴露2～3枚を1ユニットとする。暴露方法は『標準暴露試験方法』による。評価は1年間またはそれ以上の暴露による。1年以上暴露する際は毎年1ユニットずつ回収して変化を調べる。評価は、表面観察、重量減少測定、最大腐食深さ測定による。

6. 4 表面観察

腐食生成物を落とさない様に水洗し、乾燥後、カラー写真撮影する。

6. 5 重量減少測定

表面観察後、必要に応じカソードチャージによる腐食生成物除去を行い、アセトン洗浄（超音波洗浄器使用）、乾燥後、秤量する。（ASTM G1）

6. 6 最大腐食深さ測定

重量減少測定に引き続き、デプスゲージ、表面粗さ計、読み取り顕微鏡などを用いて最大腐食深さを測定する。（ASTM G46）

7. 土中環境の腐食性測定方法

7. 1 材料

ステンレス鋼 SUS304

SUS316

アルミニウム合金 1100, 6063

7. 2 試験片

100mm×100mm 厚さ1～5mm

7. 3 埋設方法

垂直埋設2～3枚、水平埋設2～3枚を1ユニットとする。

埋設深さは実構造物と同じ深さとするが、未定の場合は1mを標準とする。

埋め戻しは発生土で行う。

n年間放置する場合は毎年1ユニットを掘りあげ、表面観察、重量減少測定、最大腐食深さ測定を行う。

7. 4 表面観察

腐食生成物を落とさない様に水洗して土を落とし、乾燥後、カラー写真撮影する。

7. 5 重量減少測定

表面観察後、必要に応じカソードチャージによる腐食生成物除去を行い、アセトン洗浄（超音波洗浄器使用）、乾燥後、秤量する。（ASTM G1）

7. 6 最大腐食深さ測定

重量減少測定に引き続き、デプスゲージ、表面粗さ計、読み取り顕微鏡などを用いて最大腐食深さを測定する。（ASTM G46）

7. 7 注意事項

- （1）隣合う試験片との間隔は、300mm以上とる。
- （2）各試験片には識別の為の標識をつけるとともに、埋設箇所の正確な地図を残す。
- （3）同一時期に掘上げるものをナイロンロープなどでグルーピングし、末端に木杭を結びつけておくが良い。木杭が立てられていない時は、金属プレートに結び付けて埋設し、金属探知機捜し出す方法をとると良い。
- （4）試験片の掘上げは、腐食生成物を落下させたり、試験片に損傷を与えたりしないように慎重に行う。試験片埋設の際、目の粗い、試験片より十分大きいナイロンネットの中に埋設するのも良い。
- （5）電気化学的モニタリングを併用するときは、異種金属接触腐食、隙間腐食に注意してリード線を取り出し、適切な絶縁を施して、ターミナルボックスへ導く。

土木用途別金属系新素材一覧（案）

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2		表面処理等付帯性状		数	年数
道 路 付 属 構 造 物	路側用防護策 （ガードレール）	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注 1	耐食性 （メンテナンスフリー） 美観 強度	ステン レス	304 系	2B, 2D, #400, HL, 鏡面	強度を要する場合304N, 高耐食性を必要とする場合316。	○	C
					アルミ ニウム	5083, 6061	無処理or塗装or複合皮膜	無処理でも強度低下は無視でき、外観上の変化も目立ちにくい。	○	A
		沿岸大気	同 上	耐食性 （メンテナンスフリー） 美観 強度	ステン レス	316 二相系		過酷な腐食環境に対しては二相系が適当。		
					アルミ ニウム	5083, 6061	無処理or塗装or複合皮膜	無処理でも強度低下は無視でき、外観上の変化も目立ちにくい。	○	A
	歩道用防護策	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材（現場 塗装） 注 1	耐食性 （メンテナンスフリー） 美観	ステン レス	304 系	2B, 2D, #400, HL, 鏡面	強度を要する場合には304N1, N2が適当	○	A
					アルミ ニウム	6063, 6061 AC7A, AC4A AC4C	複合皮膜or塗装	長期的美観維持。デザインの多様性有り。	○	A
		沿岸大気	同 上	耐食性 （メンテナンスフリー） 美観	ステン レス	316 二相系			○	A
					アルミ ニウム	6063, 6061 AC7A, AC4A AC4C	複合皮膜or塗装	長期的美観維持。デザインの多様性有り。	○	A
					チタン	2 種		長期的美観維持。海水が飛来する環境にて使用。	○	C

注1 塗装、溶融亜鉛めっき、塗装溶融亜鉛めっき

注2 実績の記号区分 ◎実績多数あり（概ね10ヶ所以上） ○実績または施工例あり；A10年以上 B3～9年 C1～2年 D1年未満
ブランクは、実績無しまたは実績が把握されていないことを示す。

土木用途別金属系新材料一覧（案）

分野	用途	環境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2		表面処理等付帯性状		数	年数
道路 付属 構造物	ロックシェッド・ 落石防護柵（網）	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	耐食性 （メンテナンスフリー） 強度						
	スノージェット・ スノーシェルター なだれ防止柵	内陸大気・雪	同 上	耐食性 （メンテナンスフリー） 強度	ステン レス	304 系 二相系		高耐食性を要する場合は二相系が適当	◎	B
	防風柵・防雪柵	内陸大気・雪	同 上	耐食性 （メンテナンスフリー） 強度	ステン レス	304N 二相系			○	B
					7ルミ ニウム	6061, 6063 5083, 5052	複合皮膜or塗装		○	A
	防音壁	内陸大気	同 上 アルミ ニウム	美観 耐食性 （メンテナンスフリー）	ステン レス	塗装ステンレス 316	304 のプレコート材	塗装の種類はいくつかあるが、ふっ素 系が長寿命。		
					7ルミ ニウム	1100, 5052 6063	複合皮膜or塗装		○	A
					チタン	1 種, 2 種			○	B
		吸音板	アルミ ニウム	耐食性						
		柱	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	耐食性						
		落下防止 ワイヤ	特殊鋼 硬鋼線材	耐食性						
	遮光板 （ロードセパレーター）	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	美観 耐食性 （メンテナンスフリー）	7ルミ ニウム	5052, 6063	複合皮膜or塗装	長期的美観維持。	○	A

土木用途別金属系新素材一覧 (案)

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績		
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数	
道 路 附 属 構 造 物	排水溝	雨水	R C	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304		水環境で実績のある304 が適している		
	流雪溝	融雪塩水溶液	R C	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304 316 ～二相系		高耐食性を要する場合には316 または 二相系が適している。 付記1	◎	B
					チタン	1 種, 2 種			○	B
	照明柱, 標識柱	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観	ステン レス	304 316			◎	A
					アルミ ニウム	6061, 6063 5083, 5052	無処理or塗装or複合皮膜	長期的美観維持。デザインの多様性有り。	◎	A
					チタン	1 種, 2 種		長期的美観維持。発色による景観。	○	B
	標識板		同 上	耐食・美観	アルミ ニウム	6061, 6063 5083, 5052		無処理でも強度低下は無視でき、外観 上の変化も目立ちにくい。	◎	A
					チタン	1 種, 2 種		長期的美観維持。	○	B
	グレーチング	内陸大気	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304		304 で十分な耐食性を有する。	◎	A
					アルミ ニウム	6063	陽極酸化皮膜or無処理	無処理でも強度低下は無視でき、外観 上の変化も目立ちにくい。	○	A
	マンホール蓋	内陸大気	鋳鉄	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304	銹物		◎	A
					チタン	1 種, 2 種		軽量化, 耐食性	○	B
	チャッターバー・ キャッツアイ・ デリネーター支柱	内陸大気	アルミ合金 亜鉛めっき 等 表面処理鋼材	耐食性 (メンテナンスフリー)	アルミ ニウム	AC7A, AC3A, ADC	無処理	メンテナンスフリー	◎	A
	センターマーカー	内陸大気	ペイント ガラスビーズ	耐食性 耐摩耗性	ステン レス	304		耐摩耗性・高耐食材としての304 は従 来の塗装より適している。		

付記1 シーズンが終わり次第水洗いすることが望ましい。

土木用途別金属系新材料一覧（案）

分野	用途	環境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2		表面処理等付帯性状		数	年数
道 路 付 属 構造物	信号灯制御ボックス	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304, 304L 316		類似条件で実績がある304 が適。さら に耐食性を要する場合には316。	◎	B
	カーブミラー	内陸大気	ガラス製鏡	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304 316	鏡面		◎	A
					チタン	1種, 2種	鏡面		○	B
橋 梁	箱桁等桁本体	内陸大気	炭素鋼 + 塗 装	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化 (強度)	ステン レス	304 系		建材等で実績のある304 が適。	○	
					アルミ ニウム	5083, 5052 6061	塗装or複合皮膜	長期的美観維持。	○	A
					クラッド 鋼	ステンレスクラッド 鋼				
		沿岸大気	炭素鋼 + 塗 装	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化 (強度)	ステン レス	316 ～二相系				
					アルミ ニウム	5083, 5052 6061	塗装or複合皮膜			
					クラッド 鋼	ステンレスクラッド 鋼 チタンクラッド 鋼				
		海洋大気	炭素鋼 + 重防食塗装	耐食性 美観 軽量化	ステン レス	二相系		海洋大気で実績のある二相鋼が適。		
					クラッド 鋼	ステンレスクラッド 鋼 チタンクラッド 鋼				
	鋼製橋桁・橋脚防 食用金属箔・薄板	内陸大気	(塗装)	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観	ステン レス	304 316			◎	A
					チタン	1種, 2種	厚み50～100 μm, 接着方式			

土木用途別金属系新素材一覧 (案)

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状			数	年数
橋 梁	鋼製橋桁・橋脚防食用金属箔・薄板	沿岸大気	(塗装)	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観	ステン レス	316. ～二相系			○	B
					チタン	1 種, 2 種	厚み50～100 μm. 接着方式		○	C
		海洋大気	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観	ステン レス	二相系 高合金 (γ)				
					チタン	1 種, 2 種	厚み50～100 μm. 接着方式	注 5	○	C
	桁カバー (ルーバータイプ 含む)	内陸大気	炭素鋼＋ (塗装・フ ィルム) アルミ	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304	鏡面		○	C
						塗装ステンレス				
			7ルミ ニウム	5052, 1100 3003, 6063 AC7A, AC3A AC4A, AC4C	塗装or複合皮膜	長期的美観維持。	◎	B		
		沿岸大気	炭素鋼＋ (塗装・フ ィルム) アルミ	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	F-塗装 注 4	プレコート材	外装材で実績あるプレコート304 が適		
					7ルミ ニウム	5052, 1100 3003, 6063 AC7A, AC3A AC4A, AC4C	塗装or複合皮膜	長期的美観維持。	◎	B
					チタン	1 種, 2 種				
					クラッド 鋼	チタンクラッド 鋼				
		沿岸大気	炭素鋼＋ (塗装・フ ィルム) アルミ	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	F-塗装 注 3	プレコート材			
					チタン	1 種, 2 種	チタン			
クラッド 鋼	チタンクラッド 薄板									

注3 ふっ素系塗装ステンレス 注4 橋脚の防食としてチタンクラッド鋼の実績あり

土木用途別金属系新素材一覧（案）

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2		表面処理等付帯性状		数	年数
橋 梁	点検用歩廊	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化	ステン レス	304 系 316			○	
					アルミ ニウム	5083, 6063 5052	塗装or無処理	長期的美観維持。	○	A
		沿岸大気	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化	ステン レス	316	クリア塗装	臨海工場で実績ある316 が適、塗装も有効。高耐食性を要する場合は二相鋼		
						二相系				
					アルミ ニウム	5083, 6063 5052	塗装or無処理	長期的美観維持。	○	A
		海洋大気	同 上	耐食性 美観・軽量	ステン レス	二相系				
					チタン					
	橋側歩道	内陸大気	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化	ステン レス	304 系 316			○	
					アルミ ニウム	7N01, 5083	塗装	長期的美観維持。	○	A
		沿岸大気	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー) 美観 軽量化	ステン レス	316	クリア塗装			
						二相系				
アルミ ニウム					7N01, 5083	塗装		○	A	
海洋大気		同 上	耐食性 美観・軽量	ステン レス	二相系					

土木用途別金属系新素材一覧 (案)

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績		
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数	
橋 梁	高欄・防護柵	内陸大気	亜鉛めっき等表面処理鋼材 注1 アルミ 鋳鉄	美観耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304 系 316	類似条件で実績がある304 が適、強度を要する場合には304N、高耐食性を要する場合は316。	◎	A	
					7ルミ ニウム	6063, 6061 AC7A, AC4C		複合皮膜塗装	長期的美観維持 デザイン多様化	◎
		沿岸大気	同 上	美観耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	316	クリア塗装		○	
						二相系				
		海洋大気	同 上	美観耐食性 (メンテナンスフリー)	7ルミ ニウム	6063, 6061 AC7A, AC4C	複合皮膜塗装	長期的美観維持 デザイン多様化	◎	A
					ステン レス	二相系				
	排水溝	融雪塩水溶液	RC 鋳鉄	高耐食	ステン レス	304 316				
	伸縮継手	融雪塩水溶液	ゴム 炭素鋼 アルミ鋳鉄	高耐食	チタン	2 種, 3 種				
	化粧埋殺し型枠	内陸大気	鋼板 + 塗装	美観耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304		高耐食性の304 が適している。		
		沿岸大気	同 上	美観耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	316		304 より塩化物腐食に抵抗性が高い 316 が適している。		
		海洋大気	同 上	美観耐食性	ステン レス	316				
					チタン	1 種, 2 種				

土木用途別金属系新材料一覧 (案)

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績		
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数	
橋 梁	ケーブル外筒管	内陸大気	鋼管＋ 塗覆装 FRP	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304		○		
						塗装ステンレス				
		沿岸大気	鋼管＋ 塗覆装 FRP	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	ふっ素塗装注4				
						316 ～二相系				
		海洋大気	鋼管＋ 塗覆装 FRP	美観 耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	ふっ素塗装注4				
						二相系				
					チタン	1種、2種				
	吊り橋、斜張橋用 ケーブル	大気、結露	亜鉛めっき 鋼線、 PC鋼線＋ セメントミルク	耐食性 強度	チタン	チタン合金 (6-4 など)	加工硬化、合金	(水中ケーブルでの実績有り)	○	C
	点検用作業車	内陸大気	炭素鋼 ＋ 塗 装	軽量化 (強度) 耐食性 (メンテナンスフリー)	アルミ ニウム	5083 6061	塗装	軽量のため、橋梁にかかる死荷重が小さい。	◎	A
		沿岸大気	炭素鋼 ＋ 塗 装	軽量化 (強度) 耐食性 (メンテナンスフリー)	アルミ ニウム	5083 6061	塗装	軽量のため、橋梁にかかる死荷重が小さい。	◎	A
	補修塗装用エア配 管	沿岸大気	鋼管 FRP	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304		類似条件で実績ある304 が適。		
ケーブル定着体	モルタル中 大気中	炭素鋼、鋳 鉄＋塗装	耐食性 (メンテナンスフリー)							
支 承	大気中 堆積物あり	炭素鋼、鋳 鉄＋塗装	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	42052			◎	A	

土木用途別金属系新素材一覧（案）

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績		
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数	
トンネル	防災設備	内陸大気結露	炭素鋼（＋塗装）	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	304 系		○		
					チタン	1～2 種		（海岸トンネル（関門など）で実績有り）	○	B
	内装材	内陸大気結露	塗装＋亜鉛鋼板 注6 塗装＋ステンレス	防汚性 美観 耐食性	ステンレス	304 系 430LX	塗装	外装材として実績ある304, 430LX が適	◎	B
	セグメント	内面：コンクリート 外面：土、砂、礫・地下水	炭素鋼 R C（＋塗装）	耐食性（メンテナンスフリー） 強度	ステンレス	430-304Fiber				
					チタン	1 種、 2 種				
河川・ダム	矢板護岸	一般河川水	炭素鋼（SY295, SY390）	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	304 系		水環境に実績ある304 が適、より強度を要する場合は304 N。		
		その他河川水（汚染水） 酸性河川水	同上 鋼矢板用含銅鋼耐海水鋼	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	316 ～二相系		汚染河川水には316, または二相鋼が適		
					クラッド鋼	チタンクラッド 鋼				
	ダムゲート	一般河川水	炭素鋼＋SS400, SHY685 塗装	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	304 系			◎	A
					クラッド鋼	ステンレスクラッド 鋼			◎	
		その他河川水	炭素鋼＋SS400, SHY685 塗装	耐食性（メンテナンスフリー）	ステン	316 ～二相系			○	A
					クラッド鋼	ステンレスクラッド 鋼 チタンクラッド 鋼				
	水門・ダム	一般河川水	炭素鋼（SS400, SS490, SM400, SM490）＋塗装及び耐候性鋼 ステン 注6	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	304 系			◎	A
					アルミニウム	5083, 5052	塗装		◎	A
					クラッド鋼	ステンレスクラッド 鋼				
		その他河川水	同 上	耐食性（メンテナンスフリー）	ステンレス	316 ～二相系	（304N2 も含む）		○	A
					アルミニウム	5083, 5052	塗装		◎	A
					クラッド鋼	ステンレスクラッド 鋼 チタンクラッド 鋼				

注5 ホーロー＋A L亜鉛めっき鋼板 注6 ステンレスクラッド鋼

分野	用途	環境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数
河川・ダム	取水設備	一般河川水	炭素鋼 + 塗装 SS400. 490 SM400. 490 注 8	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	304 系		○	A
					クラッド 鋼	ステンレスクラッド 鋼			
		その他河川水	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー)	ステン レス	316 ～二相系		○	A
					クラッド 鋼	ステンレスクラッド 鋼			
	スクリーン	湖水	同 上	耐食性 (メンテナンスフリー)	アルミ ニウム	5052. 6063	陽極酸化皮膜	○	B
					チタン	1 種, 2 種			
港湾・海洋 構造物	矢板護岸	海水	炭素鋼 SY295. 390 注 8	高耐食性	ステン レス	二相系	耐海水性の高い二相鋼が考えられる。		
					クラッド 鋼	チタンクラッド 鋼			
	鋼管杭	海水	炭素鋼 SKY400. 490 ライニング 鋼材 (+電防)	高耐食性	ステン レス	高合金 (γ)	耐海水性 良		
					クラッド 鋼	チタンクラッド 鋼		○	B
					チタン	チタン複合材		○	B
	水門	海水	炭素鋼 SS400. 490 SM400. 490	高耐食性	ステン レス	高合金 (γ)		○	A
					アルミ ニウム	5083. 5052	塗装	◎	A
	浮桟橋	海水	同 上	高耐食性 軽量化	アルミ ニウム	5083. 6063	塗装or複合皮膜	○	C
					クラッド 鋼	チタンクラッド 鋼	干満帯防食		
	係留設備	海水	同 上	高耐食性					
	浮体構造物の係留索	海水	同 上	高耐食性					

注 7 他に、耐候性鋼材、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼 注 8 ライニング鋼材、(+電防)

土木用途別金属系新素材一覧（案）

分野	用途	環境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数
港湾・海洋構造物	陸間	海水	炭素鋼 SS400, 490 SM400, 490	高耐食性 軽量化	アルミニウム	5083, 5052	塗装	◎	A
	耐食メタル型枠	海水	ステンレス 鋼	高耐食性 軽量化	ステンレス				
					アルミニウム				
	鋼管杭防食用 金属ライニング	海水	F R P	高耐食性	ステンレス				
					アルミニウム				
					チタン	1 種, 2 種			
	鋼矢板防食用 金属ライニング		F R P	高耐食性	ステンレス				
下水道設備					アルミニウム				
					チタン	1 種, 2 種			
	その他 注9								
	貯水槽	下水	R C	高耐食性 (メンテナンスフリー)	ステンレス	304 316 ～二相系	浄水場の諸設備に実績ある304 が適。 高耐食には316, 二相鋼が適。	◎	A
					チタン	1 種, 2 種			
	手摺	下水雰囲気	炭素鋼 + 塗 装	高耐食性 (メンテナンスフリー)	ステンレス	304 316	H ₂ S 腐食に強い304 が適, さらに耐食性を要する場合には316 が適。	◎	A
					アルミニウム	6063, 6061	複合皮膜	◎	A
	埋設配管	内面: 下水 外面: 土		高耐食性 (メンテナンスフリー)	ステンレス	316	都・上水埋設管に316 が使用されている	◎	A
	ヒューム管内面 ライニング	下水	R C	高耐食性 (メンテナンスフリー)	ステンレス	316	汚水を含む下水には316 が適している		
	ヒューム管継手	内面: 下水 外面: 土	R C	高耐食性 (メンテナンスフリー)	ステンレス	304 316			
	覆蓋	下水雰囲気	F R P	高耐食性 軽量	アルミニウム	6063-5052	長期的実観	◎	A

注9 沿岸大気環境で安全柵としてチタンの実績有り

土木用途別金属系新素材一覧 (案)

分野	用途	環境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料		特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2	表面処理等付帯性状		数	年数
地下 構造物	基礎杭	土中	R C, P C 炭素鋼	耐食性	ステン レス	二相系			
					チタン	1 種, 2 種	ライニング材		
	鋼製連壁	土中	炭素鋼	耐食性	ステン レス	二相系			
					チタン	1 種, 2 種	ライニング材		
	タイロッド	土中	炭素鋼	耐食性					
	地下ケーブル外筒	土中	炭素鋼 (塗装, 塗覆装)	耐食性	ステン レス	316	一般土壌に対しては水道埋設後に使用 されている316 が適。	◎	B
都市 設備・公園 設備	モニュメント	内陸大気	鋳鉄等	美観 耐食性	ステン レス	304 系 316	304 が一般的, 強度を要する場合は 304N1, N2 耐食性を要する場合は316	◎	A
					アルミ ニウム	AC7A, AC4A 5052, 1100 AC3A	塗装or複合皮膜	○	B
					チタン	1 種, 2 種	美観 (カラーチタン)	◎	B
	フラッグポール	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1	美観 耐食性	ステン レス	304		◎	A
	プール	内陸大気	R C	耐食性	アルミ ニウム	5052, 6063	塗装	◎	A
					ステン レス	304		◎	A
	ベンチ	内陸大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1 プラスチック ステンレス	美観 耐食性	ステン レス	304		◎	A

土木用途別金属系新素材一覧 (案)

分 野	用 途	環 境	従来の材料	改善すべき機能	新 材 料			特 記 事 項	実 績	
					材 料 名 注2		表面処理等付帯性状		数	年数
都市設備・公園設備	手摺	内陸大気 沿岸大気	亜鉛めっき 等表面処理	美観 耐食性 鋼材 注1	アルミ ニウム	6063, 6061 AC7A	複合皮膜, 塗装	長期的美観・デザイン多様性	◎	A
					ステン レス	304 系			◎	A
					チタン	1 種, 2 種			○	C
	階段	内陸大気	同 上	美観 耐食性	ステン レス	304 HL, 2B			◎	A
	ネットフェンス	内陸大気 沿岸大気	同 上	美観 耐食性	アルミ ニウム	6063, 6061 5052	複合皮膜, 塗装		◎	A
					ステン レス	304 系			○	A
	バスストップ シェルター	内陸大気	同 上	美観 耐食性	アルミ ニウム	6063, 6061 5052, 5083	複合皮膜or塗装		○	B
立体トラス構造材	内陸大気	同 上	美観 耐食性	アルミ ニウム	6063, 6061 HE30 (NS規格 AC7A, AC4CH	陽極酸化皮膜		○	B	
一般部材・その他	ボルトナット	大気	亜鉛めっき 等表面処理 鋼材 注1 炭素鋼	耐食性	ステン レス	304, 316 630, 403 305(リベット)		304 が一般的, 高耐食性には316 が適 強度を重視する場合は403 または630	◎	B
					チタン	1 種, 2 種		トンネル内など	◎	A
	アンカーボルト	大気 コンクリート中	同 上	耐食性	ステン レス	304			◎	B
	コンクリート混合用 ファイバー	コンクリート中	スチールファイバー ガラスファイバー	耐食性 強度	ステン レス	430, 304	2D, 2B, BA	対塩害など耐食性 良 高強度	◎	A
	鉄 筋	コンクリート中	炭素鋼	耐食性						

土木用金属系新素材の耐久性
試験方法に関する研究報告書

ISSN 0386-5878
土研資料第3200号
平成5年9月(1993)
片脇清, 西崎到,

要旨

土木材料としては比較的新しく優れた性質をもつ土木用金属系新素材は、土木材料として新しいが故に実績も少なく、また、種類が多いこともあり、その耐久性が評価されていないものが多い。その大きな原因のひとつに、土木材料として優れた耐久性を持つ材料を評価するための、確立された手法がないことが挙げられる。ここではこの様な観点から、金属系新素材を土木分野に利用する際の、耐久性に関する事項について検討した結果をまとめたものである。

キーワード：金属，新素材，土木，耐久性，試験方法，ステンレス，
アルミニウム，チタン



郵便はがき

切手をは
て下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

化学研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3200号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名 印