

土木研究所資料

土木用高分子系新素材の耐久性 試験方法に関する研究報告書

平成6年6月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

Copyright © (1994) 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。

土木用高分子系新素材の耐久性 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持つ土木用高分子系新素材は、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。ここではこのような観点から、高分子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：高分子、新素材、土木、耐久性、試験方法、プラスチック、ゴム、FRP、接着剤

まえがき

高分子材料は、軽く、腐食しにくいなどの特徴を生かして、土木構造物に用いられるようになった。とはいえ、高分子材料が本格的に重要部材に使われていないのは、その物性（特に耐久性について）に不明な点が多いことが大きな原因のひとつと考えられる。

土木構造物におけるニーズの広がりから、高分子材料を重要部材に使う必要性が高まっており、また実際に高い耐久性をもち、土木用途にふさわしい高分子材料も開発されつつある。

このような観点から、本格的に高分子材料を土木用途に用いるために、優れた高分子材料を土木構造物に用いる際の、耐久性を評価するための技術開発が急務となっている。

本報告書は、高分子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、現在使われている高分子材料の耐久性試験方法と、その問題点についてまとめたものである。

第3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、試験方法について提案した。

以上のように、本報告書は高分子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、高分子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に設けられた、建設事業への新素材・新材料利用技術開発委員会土木部会（小林一輔部会長）と、その中に設置された総合評価小委員会（時田實委員長）によって、総合的な審議をして頂いた。これらの委員会の委員各位、および本研究の実施にあたって御協力頂いた多くの方々に対して感謝の意を表したい。

土木用高分子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 一般	1
1.2 基本	3
1.3 材料の耐久性評価	6
1.4 高分子系新素材の耐久性評価	9

2. 現行の試験方法と問題点

2.1 土木用高分子系新素材	11
2.2 暴露試験方法	12
2.3 促進試験方法	14
2.4 評価試験方法	20
2.5 劣化因子と試験項目の検討例	22
2.6 現行の試験方法の問題点	27

3. 耐久性試験方法の提案

3.1 土木用高分子系新素材の耐久性予測方法	31
3.2 暴露試験方法	33
3.3 促進劣化試験方法	37
3.4 データベース	38

附属資料

1. 土木用高分子系新素材の耐久性試験方法（案）

(1) 土木用高分子系新素材の耐久性予測方法（案）	39
(2) 土木用高分子系新素材の屋外暴露試験方法（案）	43
(3) 土木用高分子系新素材の促進劣化試験方法（案）	60

2. 土木用高分子系新素材の品質

(1) ゴム支承材の耐久性に関する品質	83
(2) ゴムシートの耐久性に関する品質	84
(3) FRP製型枠の耐久性に関する品質	86
(4) コンクリート補強用繊維接着剤の耐久性に関する品質	87
(5) 土木用パイプの耐久性に関する品質	88

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いいがたい。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、土木用高分子系新素材の耐久性の具体的かつ技術的な検討を行うまえに、土木構造物とそれを構成する個々の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。

1. 1 一般

1. 1. 1 適用範囲

この『耐久性の考え方』は、高分子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。

土木分野に実績は少ないが、特に高い耐久性が期待される新しい材料を、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：熱、加水分解、ウェザリング、等
- ・機械的劣化現象：疲労、摩耗、クリープ、熱、等
- ・その他劣化現象：汚れ、生物付着、等

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、各部位の劣化因子も異なることを意味する。

②環境

土木構造物は、大気、淡水（下水）、海水、土、応力下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

土木構造物は多くの材料、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する。

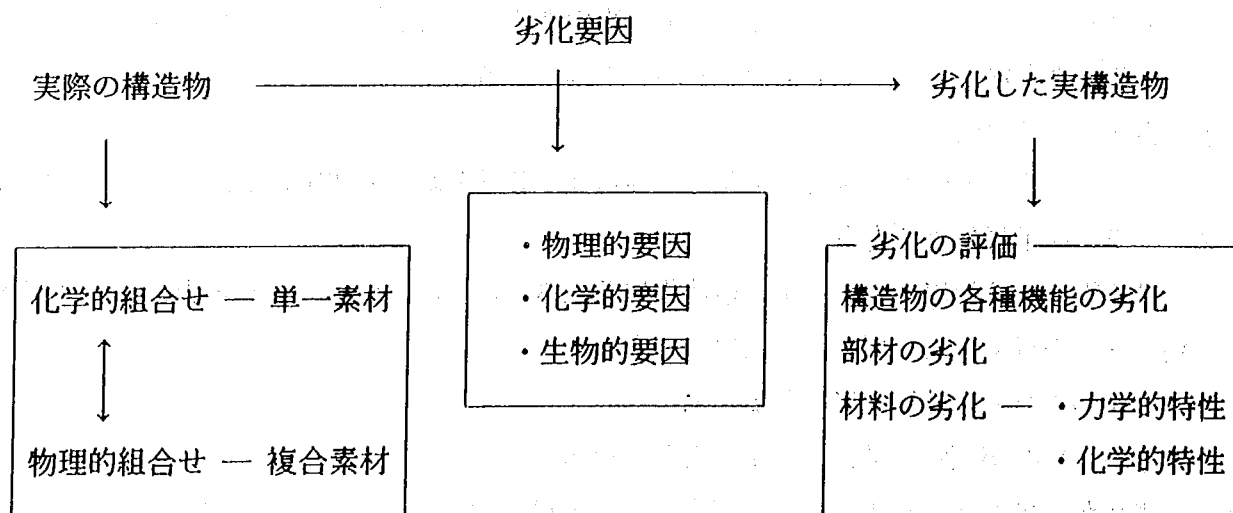
- ①土木構造物の劣化による寿命を決定する性能と性能低下の限界
- ②メンテナンスの内容

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 実際を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

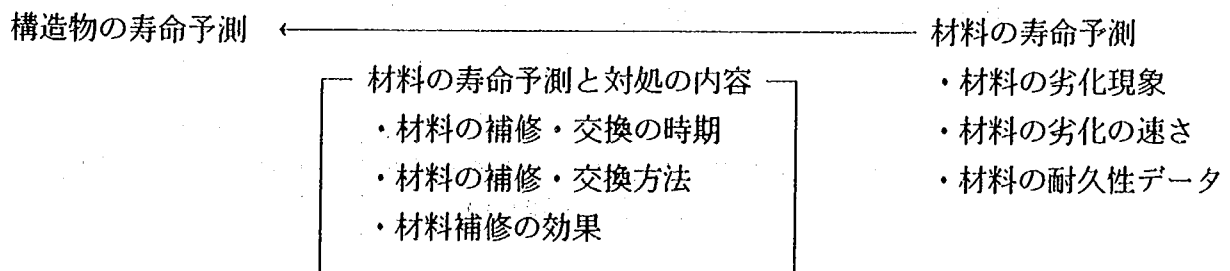
1. 2. 3 構造物の寿命と材料の寿命

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、設計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

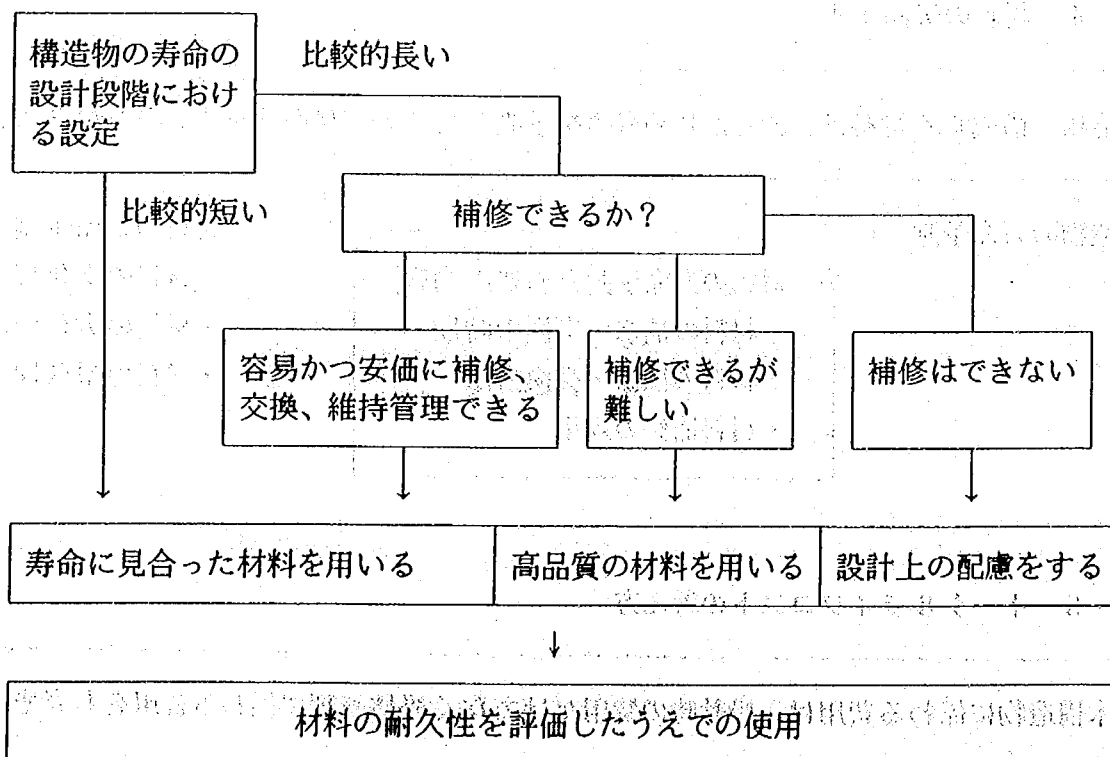
1. 3. 1 耐久性評価の基本

実際の使用条件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。

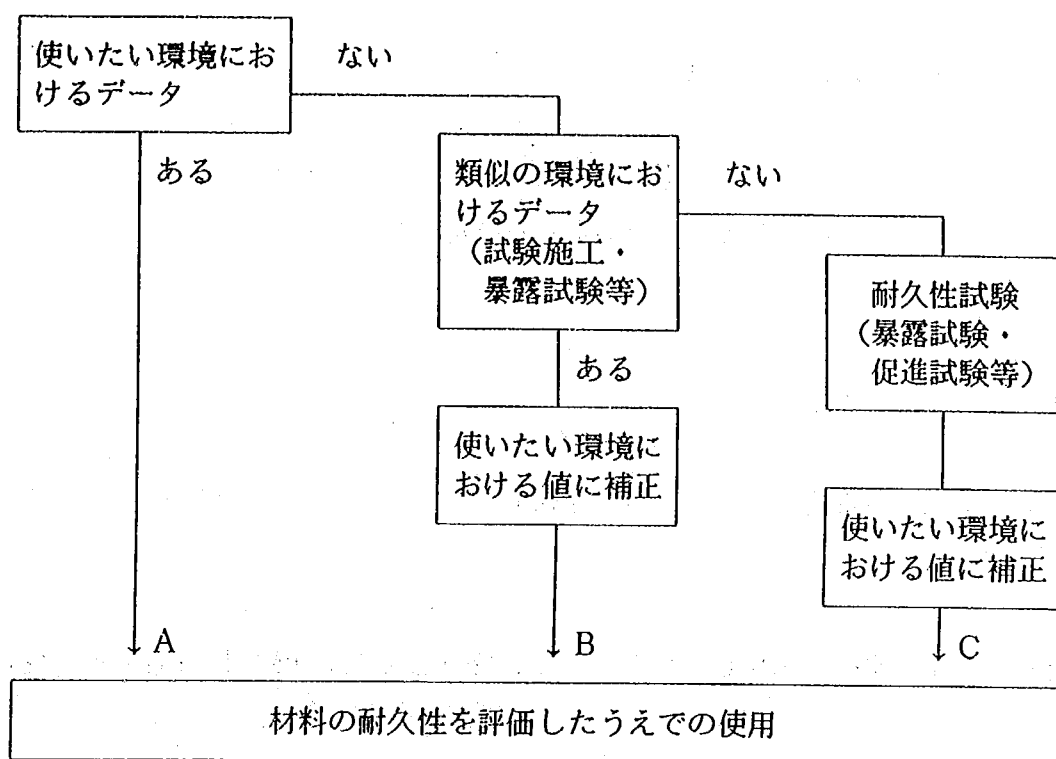
耐久性評価を行った時の土木材料の使い方は下記ようになる。



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力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、前者は実際の環境に近い条件による耐久性評価に、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。

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効果を勘案する。

1. 3. 4 試験方法と評価項目の選定

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、これに適合した試験方法と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

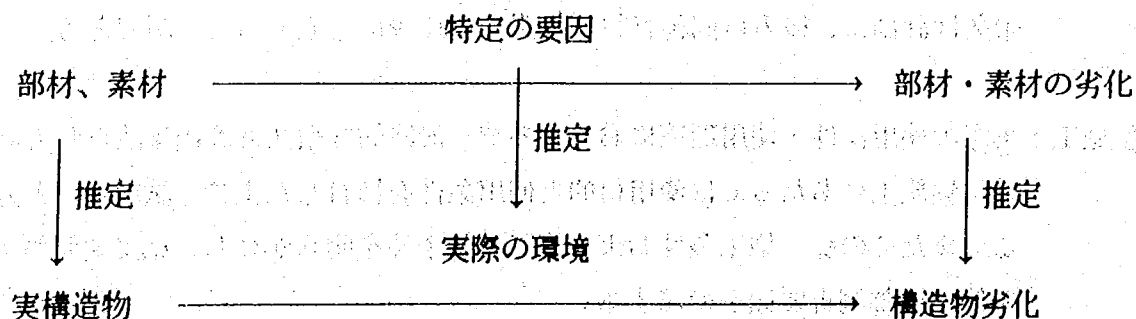
耐久性データをデータベース化しておくことは、後の耐久性評価或いは寿命予測に役立つものと期待される。

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変化を推定し、寿命予測を行う。



1. 4. 高分子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、高分子系新素材の基本特性に応じた試験項目を選ぶ必要

1. 4. 2 高分子系新素材の耐久性評価

高分子系新素材の耐久性評価は、土木用高分子系新素材の耐久性予測方法（案）に準拠して行う。

2. 現在の試験方法と問題点

2. 現在の試験方法と問題点

2. 1 土木用高分子系新素材

高分子材料は、近年広く土木用途に用いられるようになった。これらを用いる環境も大気中だけでなく、水中、土中といった、これまでの高分子材料が対象としていなかった領域まで広がっている。このため、高分子系新素材の耐久性を明確にするとともに、より優れた耐久性を有する材料を開発することが重要な課題となっている。

土木構造物には、大きさ、環境、耐用年数、メンテナンスなどの点で、いくつかの大きな特徴がある。

土木構造物の環境は、構造物毎に相当異なるだけでなく、用いる材料（資材）によっても劣化性状が異なるので、土木構造物の耐久性をひとまとめにして検討することは困難である。そこでここでは、今後利用の増加が見込まれ、また耐久性についての検討が必要と考えられる、下記に示す資材を例として取り上げることとした。

- (1) FRP
- (2) ゴムシート
- (3) ゴム支承
- (4) プラスチック管
- (5) 土木用接着剤

本章では、上記に示した高分子材料について、現在主に行われている耐久性試験方法を調べとりまとめたものである。またこれらの問題点についての検討を行った。なお、本章以降で述べる材料の耐久性とは、化学的あるいは微生物的条件に起因する化学的な材料劣化に関わる耐久性に限定している。

現在の耐久性試験方法は、①材料を劣化させる、②劣化した材料を評価する、の2段階の試験によることが殆どである。

劣化試験では、①実際に使用した際の現象を忠実に再現すること、②劣化をできるだけ早くすること、の2つのニーズが主要なものである。各種の劣化試験方法が試みられるが、人工環境劣化試験と暴露試験（すなわち自然環境劣化試験）の2種類に分けることができよう。特に人工環境の要因選択では材料のおかれる環境をよく考慮し、現在の忠実な再現ができるだけ高める工夫が必要である。

一方材料評価では、材料の用途に応じた評価項目と方法の選択が必要となる。このため材料に要求される性能をよく検討する必要がある。

2. 2 暴露試験方法

暴露試験は自然環境における暴露であるので、確実に自然のなかで起こる現象を再現することができるので、信頼できる試験とされている。しかし、自然環境に放置するので、基本的に劣化の速さを促進させることができない。

現在の暴露試験に関する基本的な、主な試験規格には下記のものがある。暴露場の選定、試料の取扱いなどの、基本的な原則を示した規格である。

ISO 4607	Plastics-Methods of exposure to natural weathering
ASTM G7-83	Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials
JIS Z 2381-87	屋外暴露試験方法通則

例えば、JIS Z 2381-87 屋外暴露試験方法通則では、暴露試験の種類としては次の9つの試験をあげている。①直接暴露試験、②アンダーグラス試験、③遮蔽暴露試験、④浸漬暴露試験、⑤応力下暴露試験、⑥ブラックボックス暴露試験、⑦太陽追跡暴露試験、⑧太陽追跡集光暴露試験、⑨接地暴露試験

このうち①と⑨は『置いておくだけの試験』であり、②～⑥は暴露条件を実際の使用条件に近づける工夫をしたものである。⑦と⑧は太陽光の照射量を増やし促進させるものである。

暴露試験の種類

種 類	特 徴
①直接暴露試験	試料を風、雨、日光などの自然環境で直接に暴露する試験
②アンダーグラス試験	試料を板ガラスで覆った試験箱内に取付け、板ガラスを透過して日光に暴露する試験
③遮蔽暴露試験	試料を遮蔽構造物の下又は中に設置し、雨、雪及び日光の直接の影響を避けた状態で暴露する試験
④浸せき暴露試験	試料の一部又は全部を水などの試験液に浸し、屋外で暴露する試験
⑤応力下暴露試験	試料に予め設定した応力又は歪を加えた状態で暴露する試験
⑥ブラックボックス暴露試験	試料を黒色処理を施した金属製試験箱の上面に取り付けた状態で、直接に暴露する試験
⑦太陽追跡暴露試験	試料を太陽光の放射する方向を追跡する暴露架台又は試料保持枠に取り付けた状態で、直接に暴露する試験
⑧太陽追跡集光暴露試験	試料を太陽光の放射する方向を追跡し、太陽光を反射集光する部位の試料保持枠に取り付けた状態で暴露する試験
⑨接地暴露試験	試料を地面に設置し、直接に暴露する試験

上記の規格の他に、これに沿った具体的な材料の暴露方法についての、詳細な暴露方法などについての規格がつくられている。そのような規格には下記のようなものがある。

ASTM D1435 Outdoor weathering of plasticsなど
JIS A 1410-68 プラスチック建築材料の屋外暴露試験方法
K 7219-86 プラスチックの屋外暴露試験方法通則
K 5400-90 塗料一般試験方法
D 0205-87 自動車部品の耐候性試験方法

暴露試験は特定の場所と期間における特定の試験結果しか得られない。これらの環境の差を考慮するため、環境因子として多くの項目を測定するように指示されていることもある。

たとえば、JIS Z 2381-87では、下記のような気象因子等を示している。

- ・気温（平均・最高・最低・毎時値）
- ・相対湿度（平均・最高・最低）
- ・絶対湿度（平均）
- ・日照時間
- ・日射量（暴露期間積算）
- ・降雨量
- ・降水時間
- ・ぬれ時間
- ・風向（最多）
- ・風速（平均）
- ・降下ばいじん量（月あたりの量）
- ・オゾン濃度（平均）
- ・二酸化硫黄濃度（平均）
- ・硫黄酸化物量（月平均）
- ・硫化水素濃度（月平均）
- ・二酸化窒素濃度（月平均）
- ・海塩粒子量（月平均）

以下必要に応じて

- ・ブラックパネル温度
- ・ホワイトパネル温度
- ・特定波長域の日射エネルギー量

2. 3 促進劣化試験

促進劣化試験には数多くの劣化方法が考案されているが、基本的には、いくつかの考え方に分類することができる。

- ①できるだけ自然に起きる劣化を再現する。
- ②特定の劣化要因についての劣化特性を調べる。
- ③できるだけ早く劣化させる。

上記のなかで、①と②は目的が異なるため両立するものではない。③は人工環境劣化試験ならでの考え方であり、①または②と両立することが望まれる場合が多いが、両立しないことが多く、そのためいくつかの方法が考案されている。

①の例としては、複合環境試験やウェザーメータなどがあげられ、②の例としては、薬品浸せき試験などが挙げられる。

現在主に使われている劣化試験には、下記のようなものがある。

- ①熱劣化試験 〔ゴム支承材、ゴムシート、FRP〕
- ②オゾン劣化試験 〔ゴム支承材、ゴムシート〕
- ③浸せき試験
 - 1) アルカリ溶液浸せき試験〔ゴム、FRP〕
 - 2) 環境水浸せき試験 〔ゴム〕
 - 3) 海水浸せき試験 〔FRP〕
 - 4) 薬品浸せき試験 〔FRP、パイプ〕
- ④耐微生物試験方法 〔ゴム〕
- ⑤複合環境劣化試験方法（ウェザーメータ法） 〔ゴム、FRP、接着材〕
- ⑥複合環境劣化試験方法（湿潤冷熱サイクル試験） 〔接着剤〕
- ⑦クリープ試験方法 〔ゴム〕
- ⑧疲労試験 〔ゴム、パイプ〕
- ⑨砂混入水の管内循環試験 〔パイプ〕
- ⑩長期偏平試験（クリープ試験） 〔パイプ〕

①熱劣化試験

- ・試験の目的：一般環境における気温上昇や、太陽ふく射による材料温度の上昇などの、熱による劣化特性を試験する。
- ・関連規格：JIS K6301 6. (ゴム)
JIS K7212 (熱可塑性プラスチック)
- ・試験対象：ゴム系材料, FRP
- ・試験装置：ギア式老化試験機
- ・主な試験条件：70℃, 100℃, 120℃で24, 48, 96, 168, 336時間の試験を行う。(ゴム)
40～200℃で適当な温度 (FRP)

②オゾン劣化試験

- ・試験の目的：大気中に含まれる、オゾンによる変質劣化を試験する。
- ・関連規格：JIS K6301 16.
- ・試験対象：ゴム系材料
- ・試験装置：オゾン劣化試験機
- ・主な試験条件：オゾン濃度 50pphm, 40℃
伸び歪：5, 10, 20, 30, 50%かけることも多い

③浸せき試験

各種の水溶液等に試験片を浸せきすることによる劣化試験である。

- ・関連規格：JIS K7070 『繊維強化プラスチックの耐薬品性試験方法』
JIS K7114 『プラスチックの耐薬品性試験方法』
JIS K6761 『一般用ポリエチレン管』6.6 浸せき試験

a) アルカリ溶液浸せき試験

試験の目的：コンクリートから溶出するアルカリ成分による変質劣化等を試験する。

試験対象：ゴム系材料, FRP

主な試験条件：23℃, 7日間静置がJIS K7114では標準

アルカリとしては水酸化カルシウム水溶液を用いる。

b) 薬品浸せき試験 (FRP)

試験の目的：熱硬化性樹脂を使用した繊維強化プラスチックの耐薬品性を試験する。

試験装置：浸せき容器、恒温装置、試験中クロスヘッド移動速度を一定に保つことのできる材料試験機。

主な試験条件：試験液の濃度は、実際に使用する液と同等のものとする。温度を恒温に保持する。浸せき期間を1年間とし、浸せき前の測定のほか、30、90、180、270日及び1年をそれぞれ測定の時期とする。

c) 薬品浸せき試験（パイプ系材料）

試験の目的： 薬品に対する耐久性を試験する。

供試体の形状：プラスチック管および継手ゴム

主な試験条件：水 60℃×5hr , 10%塩, 60℃×5hr , 40%硝酸, 60℃×5hr ,
30%硝酸, 20℃×5hr, 48hr , 30%硫酸, 60℃×5hr ,
40%硫酸, 20℃×5hr, 48hr , 40%水酸化ナトリウム, 60℃×5hr

d) 環境水浸せき試験

試験の目的： 海洋・河川・湖沼などの水, あるいは結露・降雨（雪）・地下水などの水分が
関与する変質劣化を試験する。

主な試験条件：環境水による浸せき試験

e) 海水浸せき試験（塩水）

試験の目的： 海洋環境で, 海水成分による変質劣化特性を試験する。

主な試験条件：実際の海水, または塩化ナトリウム溶液, 人工海水, 未生成塩溶液などがつ
かわれる。

促進浸透試験のため, 加圧することも考えられる。

塩水試験機

④耐微生物試験

試験の目的： 土壌内に生息する微生物による変質劣化を試験する。

試験装置：培養試験機

⑤複合環境劣化試験方法（促進耐候性試験・ウェザリング試験）

関連規格：JIS A1415 『プラスチック建築材料の促進暴露試験方法』

JIS K5400 『塗料一般試験方法』9.8 促進耐候性

JIS D0205 『自動車部品の耐候性試験方法』

JIS K6902 『熱硬化性樹脂化粧板試験方法』2.7 耐光性

対象材料：ゴム系材料, FRP, 接着剤

試験の目的：一般大気環境で, 日射・熱（気温）・降雨が複合的に作用する場合の, 変質劣
化を試験する。

試験条件：サンシャインウェザーメーター

⑥複合環境劣化試験方法（湿潤冷熱サイクル試験）

試験の目的：水分・塩基性物質・冷熱が作用する劣化環境として, 凍結融解・加水分解な
どによる変質劣化や接着性への影響を試験する。

関連規格：JIS A6910 『複層仕上塗材』5.9 温冷繰返し試験

試験装置： 浸漬深さ・水温を設定できる恒温水槽

試験条件： ①20℃で18時間、試験体の下半分を水中に浸漬

② -10℃で3時間、気中凍結

③ 40℃で3時間、気中で融解

上記を1サイクルとし、10サイクル繰り返す

⑦クリープ試験

試験の目的：一定荷重が長期にわたって作用する場合の、機械的な特性変化を試験する。

関連規格：JIS K6301 10. 圧縮永久ひずみ試験

JIS K7115 『プラスチックの引張クリープ試験方法』

JIS K7116 『プラスチックの曲げクリープ試験方法』

試験装置： 圧縮試験機（恒温機付き）

試験の目的：〔引張クリープ〕一定の温度及び一定の湿度の条件下で、プラスチック及び強化プラスチックの試験片に対し、長時間一定の引張り荷重を加え、試験片の引張りクリープひずみを測定する。または、試験開始から試験片が規定する状態（破壊又はある規定された歪）に達するまでの時間を測定する。

〔曲げクリープ〕プラスチック及び強化プラスチックの一般的な3点曲げクリープ試験。一定の温度及び一定の湿度の条件下で、プラスチック及び強化プラスチックの試験片に対し、長時間一定の曲げ荷重を加え、試験片のクリープひずみを測定する。または、試験開始から試験片が規定する状態（破壊又はある規定された歪）に達するまでの時間を測定する。

試験装置：圧縮試験機（恒温槽付き）、引張りクリープ試験機（恒温槽付き）、曲げクリープ試験機（恒温槽付き）

主な試験条件：〔引張りクリープ〕負荷に要する時間は、原則として1～5秒以内。クリープ破壊測定を行う場合には、予備荷重を含む全荷重を試験荷重とするが、クリープひずみの測定には、予備荷重を含めない。クリープひずみの測定は、負荷に要した時間の10倍の時間が経過した時点から開始する。

〔曲げクリープ〕負荷に要する時間は、原則として1～5秒以内。クリープ破壊測定を行う場合には、予備荷重を含む全荷重を試験荷重とするが、クリープひずみの測定には、予備荷重を含めない。クリープひずみの測定は、負荷に要した時間の10倍の時間が経過した時点から開始する。

⑧疲労試験

a) ゴム系材料

・試験の目的：交通荷重など、機械的な負荷が反復して作用する場合の、機械的な特性変化を試験する。

・試験装置： 2軸疲労試験装置（一定剪断圧縮疲労試験機）

- ・ 供試体の形状： 長さ:300mm×幅:300mm×厚さ:60mm 程度の積層構造供試体
* 疲労試験後の供試体から切り出した試験片による。

b) パイプ系材料

- ・ 試験の目的： 繰り返し荷重による、長期疲労特性を試験する。
- ・ 試験装置： 油圧サーボ疲労試験機
- ・ 供試体の形状： 管体 — 呼び径:300, 450, 600mmφ×長さ:500mm
- ・ 試験条件： 所定の静たわみ： 300mmφ — 20, 19, 18, 15 %
450mmφ — 35, 6 %
600mmφ — 20 %

を与え、更に±3%の繰り返し動的たわみを 1Hz, 10000cycle/dayで与え、疲労現象が現れるまで継続。

c) 硬質プラスチック

- ・ 関連規格：JIS K7118 『硬質プラスチック材料の疲れ試験方法通則』
JIS K7119 『硬質プラスチック平板の平面曲げ疲れ試験方法』
- ・ 試験の目的： 平板状の試験片の面に直交しかつ試験片の軸を通る面内で、曲げモーメントを繰り返し加えることにより、プラスチックの疲れの性質を測定する。
- ・ 試験装置： 応力振り幅一定形又はひずみ振り幅一定形のいずれかの試験機
- ・ 主な試験条件： 試験機の荷重繰り返し速度は、毎分1,500 ないし1,800 回とする。低ひずみ平面曲げ疲れ試験では、亀裂あるいは積層剝離による一定量の剛性低下をもって疲れ破壊の時期とする。なお、80%の剛性保持率に達した時期を疲れ破壊の時期とみなす。

⑨砂混入水の管内循環試験

a) パイプ

- ・ 試験の目的： 土砂混入水が管内を流れる際の管壁の減耗量を試験する。
- ・ 関連規格：
- ・ 試験装置： 管内、土砂水循環装置／サンドポンプ
- ・ 供試体の形状： 管体 — 口径:50mmφ×長さ:200mm
- ・ 試験条件： 清水に粒径:0.074~2mm の砂を 6wt% 混入したものを流速:4m/sec において、1, 2, 4, 6, 8day 試験

⑩長期偏平試験（クリープ試験）

a) パイプ

- ・ 試験の目的： 偏平時のクリープ特性を試験する。
- ・ 関連規格：

- ・試験装置： 載荷装置，重錘，変位計
- ・供試体の形状： 管体 — 呼び径:300mm ϕ ×長さ:600mm
- ・試験条件： 管体の内部に変位計を取付け，直径方向に，上下の平行な載荷板を用いて，重錘にて圧縮する。

試験温度：20 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C×300hr，35 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C×100hr，

2. 4 評価試験方法

高分子材料の評価試験は、材料の使い方とニーズに対応した内容でなければならない。

基本的な方法は、目視による外観の変化や寸法・重量の変化があげられる。目視の調査を数値化するために、表面光沢や色差などを機械計測することも有効である。

材料のニーズからは、各種の力学的な性能を評価する必要があることが多い。力学試験には多くの試験規格が作成されたものがある。

またニーズに関連する材料特性と相関関係のあることが判っている、他の試験項目によって材料評価を行うことも有効な方法である。化学的な変化との相関が判っていれば、物理化学的計測によって評価試験に用いることも可能である。

一般的な方法の例

評価試験項目	主な対象材料
目視 外観の変化（われ，変形等） 寸法 重量 表面光沢 色差	FRP、プラスチック、ゴムなど

物理化学的計測による評価の例

評価試験項目	主な対象材料
光学顕微鏡観察 電子顕微鏡観察 赤外線スペクトル 核磁気共鳴スペクトル	FRP、プラスチック、ゴムなど

主な力学試験

評価試験項目	規格名	主な対象材料
引張試験 (強度・弾性率 ・破断時伸び)	JIS K 7054 JIS K 7113 JIS K 6301	FRP プラスチック、FRP ゴム
圧縮試験 (強度・弾性率)	JIS K 7056 JIS K 7208 JIS K 6301	FRP プラスチック ゴム
曲げ試験 (強度・弾性率)	JIS K 7055 JIS K 7203 JIS K 6301	FRP 硬質プラスチック、FRP ゴム
剪断試験 (強度・弾性率)	JIS K 7057 JIS K 7058 JIS K 7059 JIS K 7213 JIS K 7214	FRP (層間剪断) FRP (横剪断) FRP (面内剪断) プラスチック プラスチック
引裂強度	JIS K 6301	ゴム
接着強度	JIS K 6848~6856	接着剤
衝撃強度	JIS K 7110 JIS K 7111 JIS K 7211	プラスチック (アイゾット) プラスチック (シャルピー) プラスチック (落錘衝撃)
硬さ	JIS K 7060 JIS K 7202 JIS K 7215 JIS K 6301	FRP (バーコル硬さ) プラスチック (ロックウェル硬さ) プラスチック (デュロメータ硬さ) ゴム (スプリング式、定荷重式)

2. 5 劣化因子と試験項目の検討例

2. 5. 1 ゴム支承材（水平力分散用を含む）

（1）劣化因子と試験項目

①ゴム支承材が使用される環境

橋梁の橋脚、橋台上

海上橋等の厳しい環境条件への適用拡大

②ゴム支承材の劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) オゾン	オゾン試験
c) 水	水中浸漬試験 デューサイクルウェザーメータ
d) クリープ	疲労試験
e) 繰返し荷重	クリープ試験

③重要な性能

弾性率（回転角、水平分散、連続桁の鉛直ばね） $G_o = 8 \pm 1$ 、 $10 \pm 1 \text{ kgf/cm}^2$

破断伸び 400%以上

接着力 7 kgf/cm (6.9kN/m)

（2）評価項目および方法

a) 熱劣化試験 引張強度、破断伸び、弾性率、接着強度、破損の種類

b) オゾン劣化試験 表面状態

c) 環境水浸漬試験 破断伸び、接着強度、破損の種類、弾性率

d) クリープ試験 厚さの変化

e) ウェザーメーター 引張強度、破断伸び、引裂強度、接着強度

f) 疲労試験 引張強度、接着強度、弾性率

注：弾性率は水平力分散用ゴム支承材の減衰特性を目的としている。

（3）合格水準等

弾性率、破断伸び、接着力がある限界以上に変化したり、外観に著しい変化がある場合、寿命とする。

（4）寿命予測の考え方

剪断反復試験（動的である必要なし）で、1万1千回で30年に相当する言われている。

2. 5. 2 ゴムシート

(1) 劣化因子と試験項目

① ゴムシートが使用される環境

止水シートとして、共同溝などに用いられる。

凹凸部分が応力集中（引張応力、引裂応力）を受けやすい。構造物によっては直射日光をうける場合もある。

② ゴムシートの劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) オゾン	オゾン試験
c) 紫外線	サンシャインウェザーメータ
d) 定常外力	クリープ試験
e) クリープ	クリープ試験
f) 融着部の集中応力	クリープ試験
g) バクテリア	土中埋設試験（バクテリア培養）
h) （総合）	屋外暴露試験

③ 重要な性質

融着強度の確保 20 kg/2.5cm (7.8kN/m)

(2) 評価項目および方法

a) 熱劣化試験	引張強度、破断伸び、引裂強度、接着強度
b) オゾン劣化試験	引張強度、破断伸び
c) ウェザーメータ	引張強度、破断伸び
d) クリープ試験	厚さの変化

(3) 合格水準

熱劣化試験、（オゾン劣化試験）、ウェザーメータ、（クリープ試験）のあと

- a) 破断時伸びの保持率：80%以上
- b) 引裂応力の保持率：80%以上

(4) 寿命予測の考え方

サンシャインウェザーメータで2000時間が、自然暴露の10年間分に相当するという報告がある。

熱劣化でのアレニウス式の導入も可能。

2. 5. 3 FRP

(1) 試験項目および方法

① FRP製型枠が使用される環境

外面－大気中、内面－コンクリートに接する

② FRP製型枠が劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) 紫外線	ウェザーメータ
c) 水(雨雪)	浸漬試験、ウェザーメータ
d) 海水	海水浸漬試験
e) 大気汚染物質 (SOx, NOx)	薬品浸漬試験

(2) 評価項目および方法

a) 熱劣化試験	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度
b) ウェザーメータ	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度
c) 浸漬試験(7%溶液)	コンクリートとFRPの付着強度、限界強度
d) 浸漬試験(海水)	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度 コンクリートへの塩分浸透量

(3) 合格水準

熱劣化試験

ウェザーメータ

浸漬試験(7%溶液)

浸漬試験(海水)

(4) 寿命予測の考え方

長期耐用期間を見込んだ特性値として、下記のような値が考えられる。

破壊強さの 種類の項目	静的特性値 (常温での) MPa	耐用15年を考慮 した時の限界値 MPa	許容応力値, MPa	
			短期荷重を含む × (1/2.20)	長期荷重のみ* × (1/3.30)
引張試験	100	(×0.7) 70	31.8	21.2
曲げ強さ	160	(×0.6) 96	43.6	29.1
面内せん断強さ	60	(×0.7) 42	19.1	12.7
層間せん断強さ	20	(×0.7) 14	6.4	4.2
打ち抜きせん断強さ	70	(×0.7) 49	22.3	14.8
面圧強さ	160	(×0.7) 112	50.9	33.9
引張弾性係数	9000	(×0.8) 7200		
曲げ弾性係数	12000	(×0.8) 9600		
面内せん断弾性係数	3500	(×0.8) 2800		
ポアソン比	0.3	0.3		

* 常時作用する長期荷重に対してはクリープを考慮して (1/1.5) 倍とする。

参考：(社) 強化プラスチック協会：FRP水槽関連の自主基準等

2. 5. 4 コンクリート補強用繊維接着剤

(1) 試験項目および方法

①コンクリート補強用繊維接着剤が使用される環境

コンクリートと接触

外面は大気中に露出

②コンクリート補強用繊維接着剤が劣化因子と試験項目

劣化因子

試験項目

a) 湿潤・冷熱サイクル ———— 湿潤冷熱サイクル試験

b) 紫外線 ———— ウェザーメータ

(2) 評価項目および方法

a) 湿潤・冷熱サイクル 外観変化(割れ・膨れ・剥がれ)、付着強度

b) ウェザーメータ 外観変化(割れ・膨れ・剥がれ)、付着強度

(3) 合格水準

湿潤・冷熱サイクル

紫外線

2. 5. 5 パイプ

(1) 試験項目および方法

①パイプが使用される環境

土木では下水道管としての用途が多い。

②パイプの劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 薬品	薬品浸漬試験
b) 土砂	砂混入水の管内循環試験
c) 荷重	クリープ試験 疲労試験

(2) 評価項目および方法

a) 薬品浸漬試験	重量変化、外観変化、引張強度、破断伸び
b) 砂混入水の管内循環試験	管壁減耗厚さ
c) 負圧試験／偏平負圧試験	圧力保持の確認
d) 短期偏平試験	たわみ、荷重、試験後のたわみの回復量
e) クリープ試験	経過時間による内径の変化量、試験後のたわみの回復量
f) 土槽内短期偏平試験	内外径の変位、歪
g) 土槽内長期偏平試験	内外径の変位、歪
h) 疲労試験	疲労破壊に到るまでの繰り返し回数

(3) 合格水準

薬品浸漬試験

砂混入水の管内循環試験

クリープ試験

疲労試験

2. 6 現行試験方法の問題点

(1) 暴露試験

土木材料の暴露試験方法としては、土木材料の置かれる環境が考慮された、適切な暴露方法の実施方法が規定されている必要がある。

たとえば、一般的な規格では、南30°から35°で暴露されることが多いが、土木構造物の多くの部分は垂直または水平であり、また、北側では南側と全く異なる劣化状況を呈することなどを考えると、土木材料が実際に適用されるような条件で暴露するべきである。また、土木構造物は種々の材料が組み合わされて成り立っている。

このような観点で、既存の暴露試験規格を調べると下記のように考えられる。

JIS Z 2381-87『屋外暴露試験方法通則』は非常に基本的であり、これのみでは暴露試験の実施には不十分である。素材としてはプラスチック、塗料について、応用材料としては建築材料、自動車部品について試験方法があるが、これらは土木構造物にそのまま適用できないものも多い。

JIS K 7219-86 はプラスチックのためのものであるが、暴露方法は直接暴露試験とアンダーグラス試験の2種に限定されていること、暴露角度が30°に規定されていることから、土木構造物への適用は適当でない。

JIS D 0205-87 は自動車部品のための規格であり、直接暴露試験、アンダーグラス試験、アンダーグラスブラックボックス暴露試験の3種に限定され、暴露角度が35°に規定されるなど、土木構造物への適用は不適当である。

JIS A 1410-68 はプラスチック建築材料のための規格であり、直接暴露試験のみで暴露角度は同じく35°に規定されてなど、土木構造物への適用は不適当である。

JIS K 5400-90 塗料のための規格であり、土木用の塗料については現在も用いられている規格であるが、直接暴露試験のみの規定しかなく、没水部分や海水の影響を強くうける飛沫帯・干満帯などの重防食などには適用できない。

このように既存の日本工業規格は、土木構造物と土木材料の多様な環境や使われ方を予想しておらず、対応することができない。このため土木構造物に対応した暴露試験方法が必要であることが判る。土木材料のための暴露試験方法に求められる検討内容は、第4章にて提案することとした。

(2) 人工環境劣化試験（促進劣化試験）

高分子系土木用材料の化学的劣化因子として紫外線・熱・水分・ガスなど、物理的劣化因子として凍結融解・乾燥湿潤・繰り返し疲労などがあり、さらに生物的なものとしてカビや腐朽菌、あるいは土中のバクテリアの作用がある。これらを実験装置によって単独、あるいは複数の劣化因子を試料に作用させて短時間に長期の耐久性を予測しようとするもので、各々の装置に特徴がある。

1台で万能の機械はないので、目的にあった試験方法を選択しなければならない。特に自然暴露試験との相関の高い方法・条件を選ばれることが重要であり、そのような試験装置の開発が望まれるが、促進試験の結果と暴露試験の結果との相似性は、判っていないことが多い。

①複合環境試験（ウェザーメータ）

ウェザーメータは、光、熱、水を組み合わせた促進劣化試験機であり、相当複雑な条件になる。光源、形状などかなり多くの種類がある。

機種の違いによって劣化に差があるといわれている。これは運転条件について詳細な設定をしていないことが原因のことも多い。

風の量、空気置換について規定も定められていない。水をスプレーする時間についても、各種の方法がある。光の波長分布はフィルターによって大きく変化するにも係わらず、フィルターについては詳細な規定はない。

カーボンアーク灯を光源とするサンシャインウェザーメータは、数日ごとに炭素棒を交換する必要がある。また光の量のコントロールはできない。

キセノンランプを光源とするキセノンウェザーメータは数百時間の連続運転が可能であり、光の量のコントロールも可能であるが、光の量のコントロールをどのように行うか、どの波長の光でコントロールするか、などはメーカーによってまちまちである。温度制御の方法も、室内温度、ブラックパネル温度の両方を制御する必要があるため、複雑なものとなる。

人工光源であるので、太陽光では起き得ない劣化がおきてしまう危険性をもっている。また、特にIR領域を吸収すると、材料の温度をあげてしまうことになる。

このような点でどのような種類・条件を選ぶかが重要である。

②熱劣化試験

熱劣化試験は通常ギヤオープンが用いられることが多い。ギヤオープンの規格は、JIS K 7212やJIS K 6301などに記載されている。

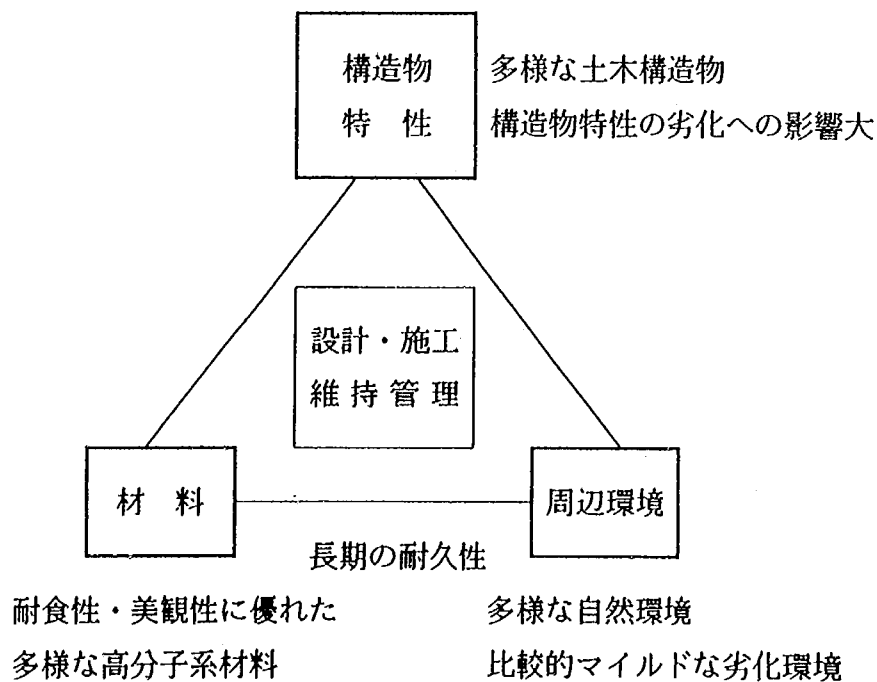
これらの規格では温度精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、温度分布 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、空気置換は1時間に1回以上、平均風速 $1 \pm 0.2\text{m/s}$ 程度となっている。

(3) 耐久性評価手法の問題点

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について、各種調査試験により得られたデータに基づき、耐久性を評価する必要がある。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 . 耐久性試験方法の提案

3. 1 土木用高分子材料の耐久性予測方法

土木用高分子材料の耐久性予測は、下図のフローのような方法が望ましいと考えられる。ここでは提起された問題点を踏まえ、耐久性予測方法の基本的な考え方をまとめるものである。

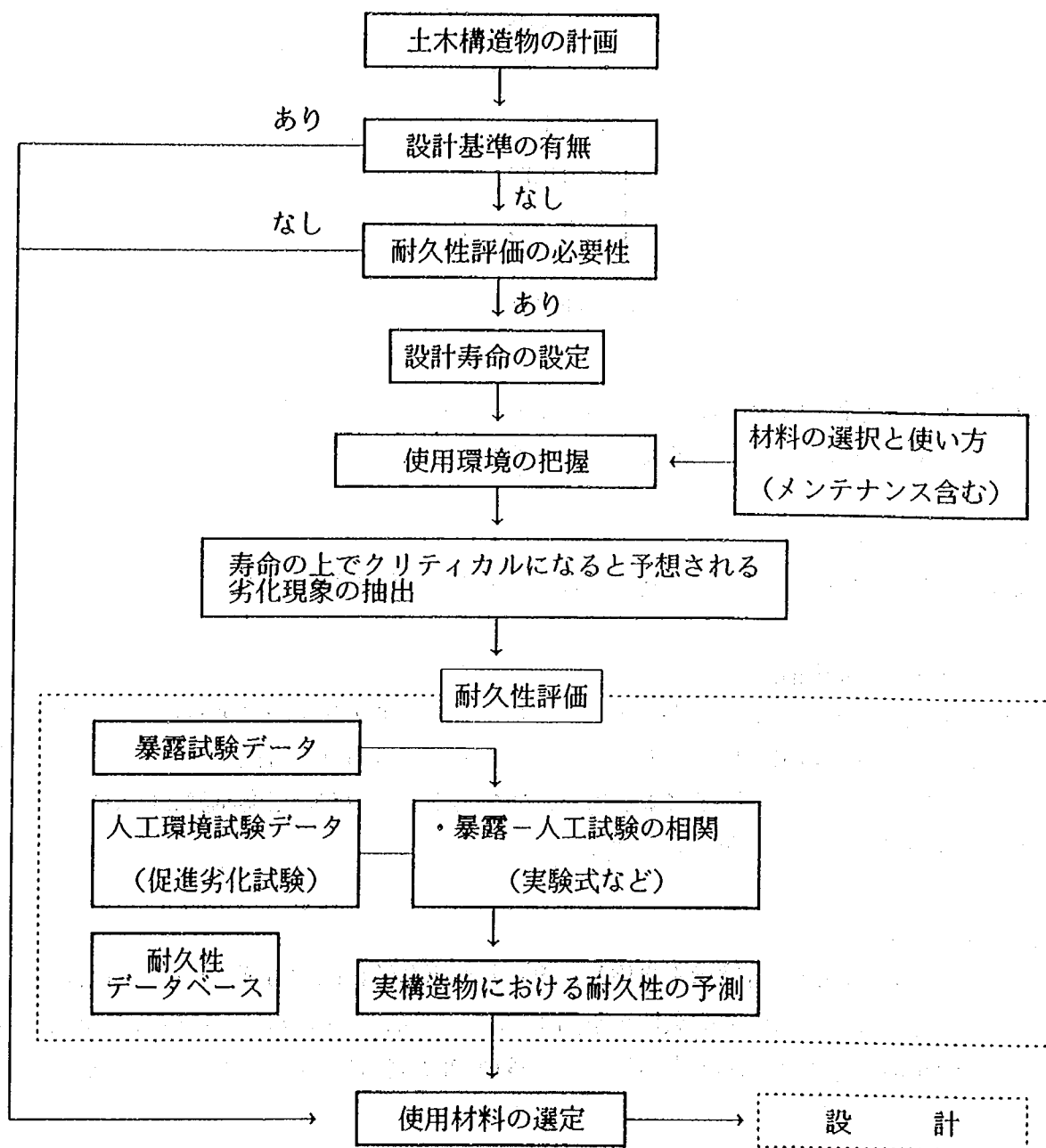


図 土木用高分子系新素材の耐久性評価のフロー

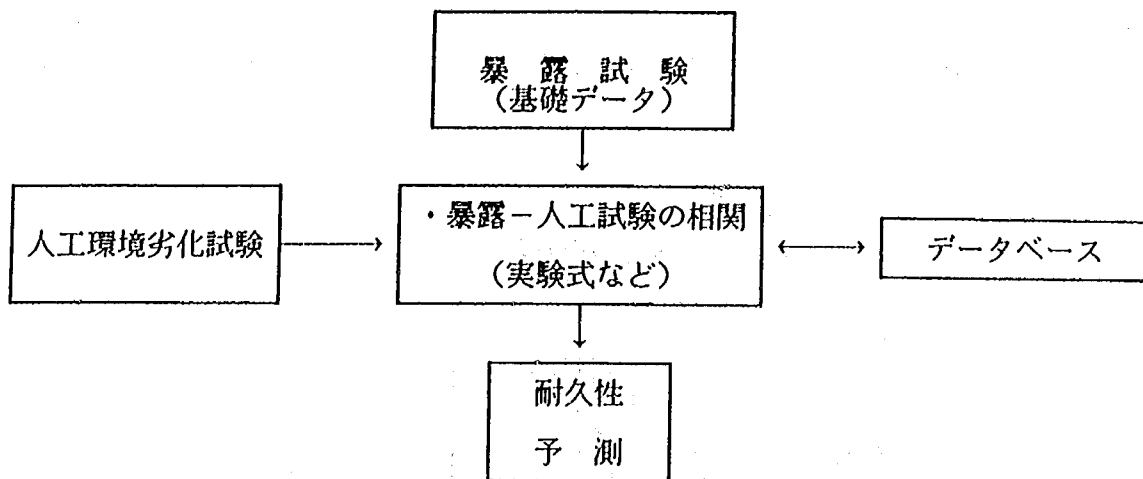


図 耐久性評価のフロー

(1) 暴露試験

現時点でもっとも信頼できる耐久性に関するデータは、暴露試験によるものであるので、暴露試験によって得られるデータを基礎データとする。

(2) 人工環境劣化試験

暴露試験実施期間以上の耐久性予測は、人工環境劣化試験と暴露試験を組み合わせで行う。

(3) 暴露－人工試験の相関

人工環境劣化試験のなかから、劣化機構やこれまでの促進劣化試験による知見等をもとに、暴露試験にみられる材料劣化に最も近似していると考えられる試験方法を選ぶ。これは、単因子による劣化試験でも、複合因子による劣化試験でも構わないが、暴露試験との相関の最も良い方法・条件を見つけることが重要となる。

(4) 耐久性予測

上記の劣化試験方法による試験を実施し、得られた耐久性に関するデータを、暴露試験結果と比較することにより、材料の耐久性を予測する。この際、人工環境劣化試験と暴露試験の間に、良い相関があることが必要である。また、各種の耐久性に関する実験式を用いることが望まれる。

(5) データベース

このように耐久性予測には非常に多くの労力を必要とするが、これらをできるだけ効率的に行うために、これまでに得られたデータ・情報をデータベース化にて、必要に応じて利用できる様にすることが有効であると考えられる。

3. 2 暴露試験方法

現在の暴露試験方法は土木構造物と土木材料の多様な環境や、使われ方を予期していないため、土木構造物に用いる土木用高分子系新素材の暴露試験方法を新たに検討した。

これに基づき、『土木用高分子系新素材の暴露試験（案）』を提案した。

一般的な事項については下記のようにとりまとめた。

（１）土木用高分子系材料の曝される環境

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。

- ①大気環境
- ②海洋環境（海中部、干満帯、飛沫帯、海上部）
- ③河川、湖水環境
- ④下水環境
- ⑤土中環境
- ⑥特殊環境

（２）材料の劣化となる主な環境要因

環境要因は、①化学的因子、②物理的因子、③生物的因子に大別される。さらにこれらの詳細は因子ごとに分けて示すことができる（付表）。土木用高分子系材料が、実際に使用される際に曝される環境を要因毎に分け、その因子ごとの影響の大きさ、条件、範囲について検討を行うことが望ましい。

土木構造物の耐久性を考えると、土木構造物を構成する土木材料の、劣化条件や劣化機構を考慮する必要がある。そのためには、土木構造物が曝される環境条件を検討することが不可欠である。

①環境の分類

環境の分類は、環境あるいは材料の視点によってほぼ定まると考えられる。土木構造物の環境分類は、大気中であるか、海岸であるか、あるいは水中であるか等による分類であると考えられる。またさらに実際の土木材料が受ける条件を、耐久性を検討するほど詳細に表すために、土木材料の温度がどれくらいであり、年間どれくらいの雨をうけるなどの、環境を要因ごとに分類して、各因子ごとの条件を検討する必要がある。

②環境のスケール

前記の①はほぼ土木構造物設置地点における環境分類であるが、ひとつの構造物でも部位によって、材料の条件は異なる。よりミクロ的にみると、例えば海岸に設置される構造物でも、全く海水の影響を受けない部分がある一方で、非常にうける部分もあることになる。このようなミクロ的な視点では、環境を全て把握することは難しくなるが、実際の土木材料の劣化条件は、むしろミクロ的な条件の方が、実際にのものに近い。

逆に、よりマクロ的な視点でみると、例えば地域による土木構造物の耐久性の差などの、重要な知見をもたらすことになる。

土木構造物の耐久性検討にあたっては、これらの全てのスケールでの検討をひととおり行うことが必要となるが、もっとも扱い易いスケールとしては、土木構造物ごとの環境であると考

えられる。本文中の検討もこのスケールにおいて行うのが妥当である。

③土木用高分子系材料の環境要因

土木材料が実際に曝される環境条件は、①化学的因子、②物理的因子、③生物的因子に大別される。ここで土木材料の劣化機構が明確であると検討しやすい。劣化機構が化学反応であれば化学的因子が重要となり、物理的機構であれば物理的因子が重要となる。ただしこれらの複合的な条件が影響する場合も非常に多いので、すべての条件を検討しなければならない。

これらの因子の原因あるいは関連する気象因子、測定因子を総合的に検討することは、暴露試験の実施時に重要な知見となる。

(3) 暴露の方法

暴露試験に関する J I S 等の規格では、南30°面で暴露されることが多いが、土木構造物では垂直あるいは水平の構造物の方が多い。また、北側では南側と全く異なる劣化状況を呈することなどを考えると、南30°面に固執する理由はない。土木材料が実際に適用されるような条件で暴露すべきであるため、水平または垂直を標準とした。ただし、0°の暴露では、正確に水平をとるのは困難であり、溜まり水等の不均一を生ずる可能性があるので、5°を標準とした。

なお、従来のデータが南30°によるものが多く、新たな試験方法の導入によって、これらとの比較がしにくくなる可能性もあるので、しばらくは、5°または90°の暴露試験と、南30°による暴露試験を並行して行い、データの差を比較検討し、過去のデータを有効に活用しながら徐々に移行していくことが望ましい。

暴露の方法は、土木用高分子系材料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。

(4) 暴露場所

暴露試験を行うべき場所は下記の要領で決定する。

- ①既に耐久性検討の対象構造物がある場合はその構造物上または周辺
- ②特に耐久性検討の対象構造物がない場合は、2. で検討した主要劣化要因のなかでも、特に重要な劣化因子が作用すると考えられる場所を選定する。
- ③複数の暴露場所を選ぶことにより、暴露場所の環境差を調べることができる。

標準的な暴露場を幾つか定めておき、その暴露場におけるデータとの比較を行うことで、効率的な耐久性試験を行うことが期待できる。その様な標準的暴露試験場の例としては、大気中の暴露の場合、次の様なものがある。

例

- ①寒冷地域 ———— ・帯広など (年平均気温 6℃程度)
- ②温暖地域 ———— ・つくばなど (年平均気温 13℃程度)
- ③亜熱帯地域 ———— ・沖縄など (年平均気温 22℃程度)

(5) 供試体

供試体は実構造物と同じ方法によって作成されることが望ましい。実物からの切り出しにより作成することは、推奨される一つの方法である。

供試体形状は、評価項目に適合したものとする。場合によっては2種類以上の形状の供試体をもちいることも必要である。

供試体の規模も暴露試験においては重要なファクターであり、できるだけ実物に近づけることが望ましい。供試体の形状の差や規模の差によって、土木材料の劣化環境が相当の影響を受けることがある。

必要に応じて供試体の大きさの影響を調べるために、評価試験に適したスケールのものと、実物大に近いスケールのものの2種類以上の形状のものを用いることも重要である。

評価項目に適合した試験体形状を検討する。

供試体の規模も暴露試験においては重要なファクターであり、できるだけ実物に近づけることが望ましい。供試体の形状の差や規模の差によって、ミクロ的な劣化環境が相当の影響を受けることがある。

(6) 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、十分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

暴露試験の実施期間は、耐久性予測が必要な時間と促進劣化試験方法との相関によって決まるが、標準的な暴露試験期間は概ね5年以上が望ましい。また暴露試験期間は長いほど望ましいと考えられる。

(7) 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

①要求性能・品質の検討

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理する必要がある。

②評価項目の検討

用途・要求性能に応じて最適の評価項目および方法を検討する。

(8) 暴露環境の測定項目

土木用高分子系材料の暴露試験においては、気象観測、劣化因子観測を実施することが望まれる。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が望まれる。

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）
- ・日照時間（暴露期間積算）
- ・日射量（暴露期間積算）
- ・降水時間（必要があれば降水量）
- ・ぬれ時間
- ・風速（平均）
- ・飛来塩分量（月当り）

（以下必要に応じて）

- ・ブラックパネル温度、ホワイトパネル温度
- ・降下ばいじん量（月当り）
- ・オゾン濃度（月当り）
- ・二酸化硫黄濃度（月当り）
- ・硫黄酸化物濃度（月当り）
- ・硫化水素濃度（月当り）
- ・二酸化窒素濃度（月当り）

暴露試験は、特定の場所と期間における試験の結果しか得られないので、暴露場所以外の場所で生ずる劣化現象は把握できない。気象因子や作用する劣化因子などの暴露試験条件をモニターしておけば、データに普遍性が得られ、これに基づいた劣化現象と劣化因子の関係やを議論できるし、促進劣化試験との関連などの本質的な検討を行うための資料が得られる。

3. 3 促進劣化試験方法

高分子系土木用材料の化学的劣化因子として紫外線・熱・水分・ガスなど、物理的劣化因子として凍結融解・乾燥湿潤・繰返し疲労などがあり、さらに生物的なものとしてカビや腐朽菌、あるいは土中のバクテリアの作用がある。これらを実験装置によって単独、あるいは複数の劣化因子を試料に作用させて短時間に長期の耐久性を予測しようとするのもので、各々の装置に特徴がある。1台で万能の機械はないので、目的にあった試験方法を選択しなければならない。

特に自然暴露試験との相関の高い方法・条件を選ばれることが重要であり、そのような試験装置の開発が必要である。

このような観点から、土木用高分子系新素材に適した試験方法と試験条件を考慮して、『土木用高分子系新素材の促進劣化試験方法（案）』を提案した。

3. 4 データベース

高分子系新素材が用いられた土木資材の耐久性に関するデータが得られても、それを効率的に利用することができなければ、意味のないものになってしまう。そこで耐久性に関するデータを一定の形式で整理した、データベースを作成することが望ましいと考えた。

データの整理形式としては、例えば以下のようなものが考えられる。

材料 土木材料名
材料の構成・素材

環境 場所
気象データ

環境因子データ

耐久性データ

測定項目	測定方法	デ ー タ				
		初 期	年 月 後	年 月 後	年 月 後	年 月 後

また、このようなデータを集積する上で重要なのは、

- ①明確な試験手順（方法）
- ②熟達した試験技術者
- ③正確なデータの受け入れと集積のためのシステム

などの確立である。

付属資料 Ⅰ

土木用高分子系新素材の耐久性試験方法(案)

土木用高分子系新素材の 耐久性予測方法（案）

1. 適用範囲

この方法は、土木用高分子系材料の物理的・化学的性質の耐久性を、暴露試験および促進劣化試験を行うことにより予測する際に適用する。

2. 耐久性予測の方法

2. 1 耐久性予測のフロー

耐久性予測は図のようなフローによって行う。

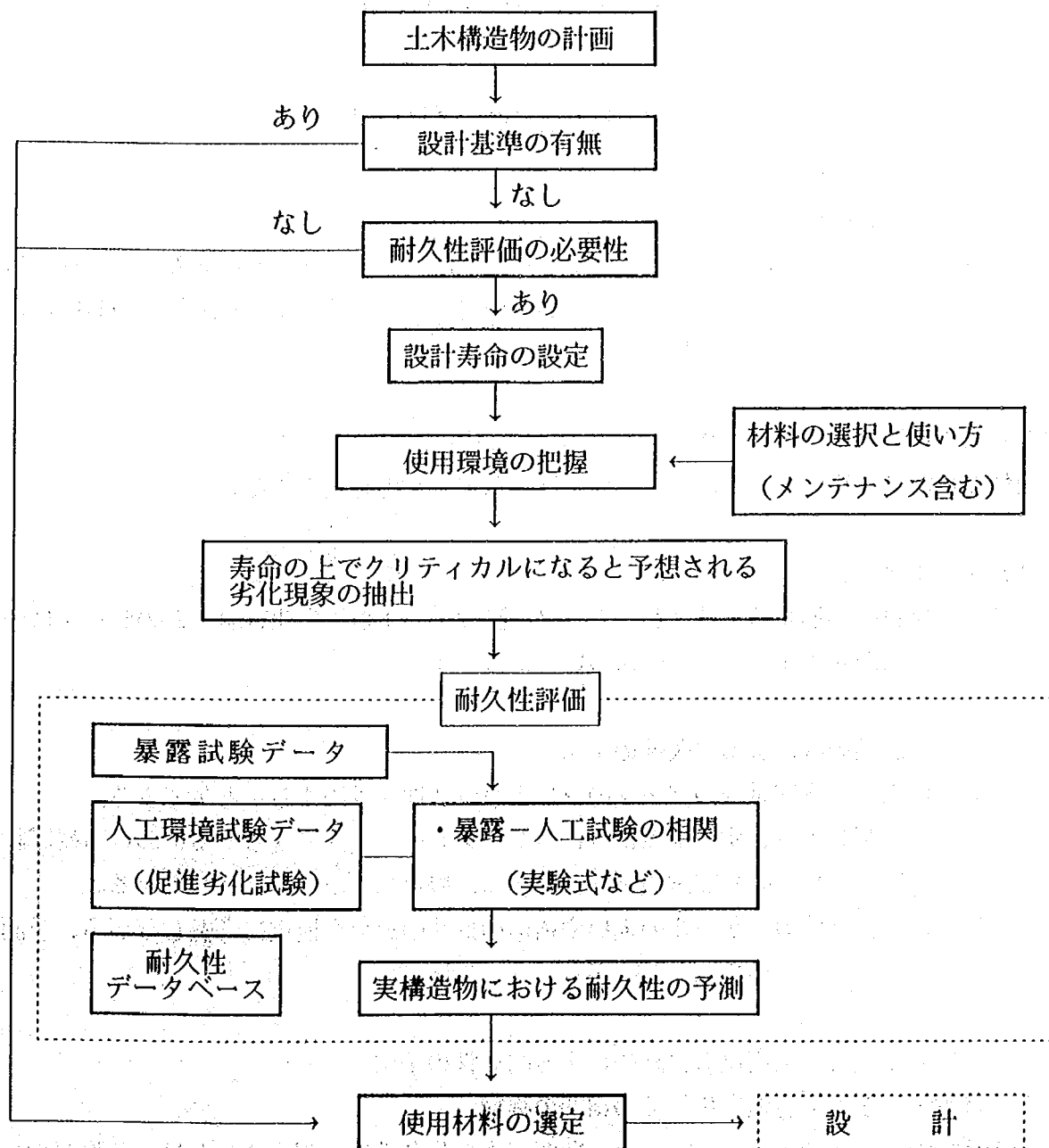


図 土木用高分子系新素材の耐久性評価のフロー

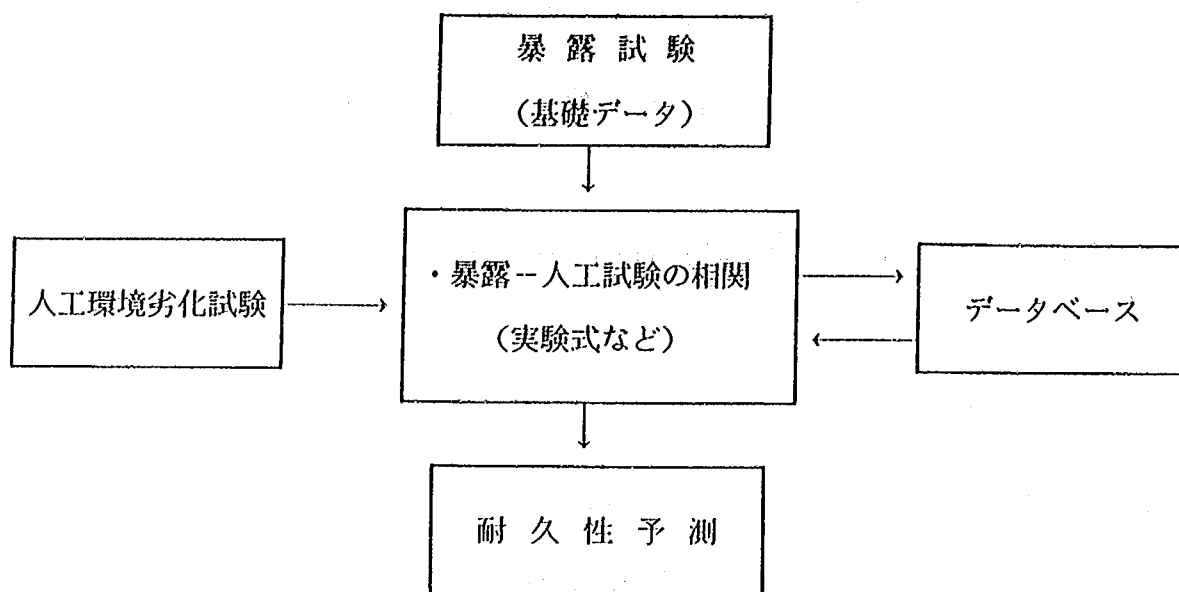


図 耐久性予測のフロー図

2. 2 基礎データの入手

(1) 暴露試験データ

暴露試験による耐久性に関するデータはもっとも信頼できるものであるので、これを基礎データとする必要がある。暴露試験のデータが無い場合、または極度に不足している場合は、暴露試験を新たに行うことが望ましい。

(2) 人工環境劣化試験データ

可能であれば各種の人工環境劣化試験を行ったデータ等を入手する。

(3) データベース

関連する材料の関連する環境における、暴露試験・人工環境劣化試験などのデータについて、データベースから入手できるものについては入手する。

2. 3 暴露試験のみによる耐久性の予測

一定の条件内では暴露試験のデータのみにより耐久性を予測することができる。

これは、①予測しようとする地点よりはるかに厳しいと判断できる環境における暴露試験データがある、②十分長期の暴露試験データがある、場合に適用することができる。

この場合は、試験体のスケールの違いや構造の形状の違いを慎重に考慮しながら、予測する。

2. 4 暴露試験と人工環境劣化試験による耐久性の予測

(1) 暴露試験と人工環境劣化試験の相関の検討

暴露試験のみによって、暴露試験実施期間以上の耐久性を予測することは、危険が大きいので、暴露試験期間以上の耐久性予測は、人工環境劣化試験と暴露試験を組み合わせで行うことが原則である。

人工環境劣化試験データのなかから暴露試験との相関のできるだけ良いものを探す。この際材料の使用環境条件を詳細に検討することが必要である。

相関の良い人工環境劣化試験方法を選定したら、その方法によるデータと、予測しようとする地点とほぼ同程度、あるいはそれより厳しいと判断できる環境における暴露試験のデータについて実験式を作成する。この式により使用とする地点における材料の耐久性（劣化特性）を予想することができる。このような実験式の例としては、アレニウスプロット、アイリングモデルなどがあげられる。

但し、暴露試験データおよび人工環境劣化試験データはいずれも予測する期間よりも長くなければならない。また、試験体のスケールの違いや構造の形状の違いなどについての慎重な考慮を必要とする。

（２）暴露試験および促進劣化試験の実施

暴露試験および人工環境劣化試験の不足しているデータしかない場合や、相関の良い人工環境劣化試験データが無い場合については、暴露試験または人工環境劣化試験を実施する必要がある。

人工環境劣化試験の場合は、劣化機構やこれまでの促進劣化試験による知見等をもとに、暴露試験にみられる材料劣化に最も近似していると考えられる試験方法を選ぶ。

これらの試験の詳細は、『土木用高分子系新素材の屋外暴露試験方法（案）』および『土木用高分子系新素材の促進劣化試験方法（案）』によるものとする。

3. 注意事項

（１）評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、最適の評価項目および方法が選ばれていることが必要である。耐久性データ入手の際に、要求される性能を整理することにより、よく吟味することが必要である。

（２）暴露場

環境が同じ程度か否か、あるいは２つの暴露地点のどちらが劣化し易い環境かは、注意して検討する必要がある。

（３）データの取扱い

暴露試験データは暴露方法によって劣化が異なることが多いので、取扱いに注意を要する。また、人工環境劣化試験についても、劣化条件を良く確認する必要がある。

（４）特に耐久性の良い材料

特に耐久性の良い材料では、長期間の暴露試験および促進劣化試験において劣化が認められないことがある。このような場合、促進劣化条件を特に厳しくして、むりやり劣化させることは、耐久性評価を行ううえでは望ましいことではない。

特に耐久性の良い材料の場合は、できるだけ同種と考えられ、しかも耐久性が劣る比較材料

と同時に暴露試験を行うことにより、比較材料よりも耐久性が良いことを確認する方法が推奨できる。この場合促進劣化試験方法には、耐久性の順位が自然暴露に比較して逆転する恐れが少ない方法を選ぶ必要があるので、実際の使用環境を吟味して促進劣化試験方法を選定するものとする。

土木用高分子系新素材の 屋外暴露試験方法（案）

1. 適用範囲

この試験方法は、土木用高分子系新素材の自然環境における耐久性を試験するために、試験体の屋外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決めている。

- ①大気環境
- ②海洋環境（海中部、干満帯、飛沫帯、海上部）
- ③河川、湖水環境
- ④下水環境
- ⑤土中環境
- ⑥特殊環境

暴露試験方法は土木用高分子系新素材の使い方を考慮して決定する。構造物によって相異なる環境に接する場合は最も標準的と考えられる条件、或いはできればより厳しいと考えられる条件を選択するのがよい。

劣化に影響を及ぼす使用条件（例えば日光にあたる具合、地面からの高さ、水中への没水時間、コンクリートへの接触の具合など）が、実際の条件と同じかより強く作用するように方法を選ぶ必要がある。

下記に示す土木用高分子系新素材を用いる場合の環境区分は、次表のようになるであろう。

- ①FRPをコンクリート永久型枠として用いる
- ②ゴムシートを共同溝・貯水池防水シートとして用いる
- ③ゴムを橋梁支承として用いる
- ④ポリエチレンを下水道管として用いる
- ⑤プラスチックをコンクリート繊維補強用接着剤として用いる
- ⑥FRPを橋梁用ケーブルとして用いる

表 暴露環境の区分の例

	暴露環境の区分								
	大気	海 洋				河川	下水	土中	特殊
		海中	干満	飛沫	海上				
FRP製コンクリート永久型枠	○			○	○				○
共同溝・貯水池防水ゴムシート	△					○		○	○
橋梁ゴム支承	○				○				○
ポリエチレン下水道管	△					○	○	○	
コンクリート繊維補強用接着剤	○								○
FRP製橋梁ケーブル	○	△	△	○	○				○

3. 大気中環境における暴露試験

3. 1 暴露場所

大気中環境における暴露試験の代表的な暴露試験地点は以下に示すとおりである。

- | | |
|----------|--------------|
| ・亜熱帯沿岸環境 | 沖縄沿岸部 |
| ・温暖環境 | つくば市など |
| ・積雪環境 | 新潟、秋田、山形など |
| ・寒冷環境 | 北海道（札幌、陸別など） |

3. 2 暴露環境の測定項目

土木用高分子系材料の暴露試験においては、気象観測、劣化因子観測を実施することが望まれる。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が望まれる。

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）
- ・日照時間（暴露期間積算）
- ・日射量（暴露期間積算）
- ・降水時間（必要があれば降水量）
- ・ぬれ時間
- ・風速（平均）
- ・飛来塩分量（月当り）
- ・ブラックパネル温度、ホワイトパネル温度（必要に応じて）
- ・降下ばいじん量（月当り）
- ・オゾン濃度（月当り）
- ・二酸化硫黄濃度（月当り）
- ・硫黄酸化物濃度（月当り）
- ・硫化水素濃度（月当り）
- ・二酸化窒素濃度（月当り）

3. 3 試験体

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などでは平板の場合、300 × 300mmを標準大ききとする。厚さは原寸厚さ、または目的に応じて定めるものとするが、特に指定のないときは3～5mmを標準とする。

必要に応じて供試体の大きさの影響を調べるために、評価試験に適したスケールのものと、実物大に近いスケールのものの2種類以上の形状のものを用いることも重要である。

3. 4 暴露の方法

暴露の方法は、土木用高分子系材料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、条件が不均一になると予想される場合は、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 2381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）を標準とする。ただし従来の試験は30～35°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。

3. 5 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、十分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

屋外暴露試験の実施期間は、概ね5年間以上が望ましい。ただし、耐久性の予測が充分に可能な促進暴露試験の結果が得られている場合には、この期間を短縮することが出来る。

3. 6 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

評価手法を下表に例示する。

土 木 用 途	評 価 項 目		
	外 観	力 学 的	物理化学的
F R P 製コンクリート永久型枠	外観観察	接着強度、曲げ強度、 曲げ弾性係数、衝撃強度	顕微鏡観察
共同溝・貯水池防水フィルム	外観観察	引張り強度、破断伸び、 引裂強度、接着力	〃
橋梁ゴム支承	外観観察	弾性率、破断伸び、破断状況	〃
ポリエチレン下水道管	外観観察	引張り強度、破断強度	〃
コンクリート繊維補強用接着剤	外観観察	コンクリートとの接着強度、引張り強度	〃
F R P 製橋梁用ケーブル	外観観察	引張り強度、引張り弾性係数、	〃

4. 海洋環境における暴露試験

4. 1 暴露場所

海洋環境における暴露試験の代表的な暴露試験地点は以下に示すとおりである。

- | | |
|----------|------------------|
| ・亜熱帯沿岸環境 | 沖縄沿岸部 |
| ・日本海積雪沿岸 | 新潟、秋田、山形などの日本海沿岸 |
| ・温暖沿岸 | 静岡県沿岸部など |

4. 2 暴露環境の測定項目

土木用高分子系材料の暴露試験においては、気象観測、劣化因子観測を実施することが望まれる。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が望まれる。

海上部においては、標準的な気象・劣化因子測定項目として、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）
- ・日照時間（暴露期間積算）
- ・日射量（暴露期間積算）
- ・降水時間（必要があれば降水量）
- ・ぬれ時間
- ・風速（平均）
- ・飛来塩分量（月当り）

（以下必要に応じて）

- ・ブラックパネル温度、ホワイトパネル温度
- ・降下ばいじん量（月当り）
- ・オゾン濃度（月当り）
- ・二酸化硫黄濃度（月当り）
- ・硫黄酸化物濃度（月当り）
- ・硫化水素濃度（月当り）
- ・二酸化窒素濃度（月当り）

飛沫帯・干満帯・海中部については下記の項目についても計測することが望ましい。

- ・水温（1時間時値）
- ・没水時間及び時期
- ・水質（pH、塩素イオン濃度、BODなど）
- ・その飛来の及ぶ高さが判ればなおよい。

4. 3 試験体

大気部の場合は、実物または実物大のものをを用いても良い。板状の場合、供試体の標準的な形状は、300 × 300mmを標準大きさとする。厚さは原寸厚さ、または目的に応じて定めるものとするが、特に指定のないときは3～5mmを標準とする。

必要に応じて供試体の大きさの影響を調べるために、評価試験に適したスケールのものと、

実物大に近いスケールのものの2種類以上の形状のものを用いることも重要である。

4. 4 暴露の方法

海上部の場合は原則として大気中暴露と同じ方法による。

海中部については、JIS Z 2381に規定する浸せき暴露試験を標準とする。

飛沫帯、干満帯については、海岸或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、特に強固に取り付ける必要がある。供試体の取付け角度は 0° または 90° を標準とする。

4. 5 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、充分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

屋外暴露試験の実施期間は、概ね5年間以上が望ましい。ただし、耐久性の予測が充分に可能な促進暴露試験の結果が得られている場合には、この期間を短縮することが出来る。

4. 6 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

5. 河川・湖水環境における暴露試験

5. 1 暴露場所

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。

*一般河川・湖水	七ヶ宿ダム湖など
*汚染河川・湖水	釜房ダム湖など
*干潮河川・湖水	紀の川下流域など
*酸性河川・湖水（塩酸酸性）	玉川ダム湖など
*酸性河川・湖水（硫酸酸性）	

5. 2 暴露環境の測定項目

土木用高分子系材料の暴露試験においては、気象観測、劣化因子観測を実施することが望まれる。測定すべき気象観測項目、劣化因子は、（２）で検討した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が望まれる。

水上部の標準的な気象・劣化因子測定項目は、大気中の環境測定と同じ。

没水部については下記の項目についても計測することが望ましい。

- ・水温（１時間時値）
- ・没水時間および時期
- ・水位
- ・水質（pH、塩素イオン濃度、電気伝導度、特に異状があればDO、BOD、COD、SS、 NH_4^+ 、 NO_3^- など）
- ・生物付着の度合

5. 3 試験体

大気部の場合は、供試体の標準的な形状は平板で、300 × 300mmを標準大きさとする。厚さは原寸厚さ、または目的に応じて定めるものとするが、特に指定のないときは3～5mmを標準とする。

必要に応じて供試体の大きさの影響を調べるために、評価試験に適したスケールのものと、実物大に近いスケールのものの２種類以上の形状のものを用いることも重要である。

5. 4 暴露の方法

水上部の場合は原則として大気中暴露と同じ方法による。

水中部については、JIS Z 2381に規定する浸せき暴露試験を標準とする。なお、流水の力を強くうけることがあるので、特に強固に取り付ける必要がある。供試体の取付け角度は0° または90° を標準とする。

5. 5 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、十分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

屋外暴露試験の実施期間は、概ね5年間以上が望ましい。ただし、耐久性の予測が充分に可能な促進暴露試験の結果が得られている場合には、この期間を短縮することが出来る。

5. 6 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

6. 土中環境における暴露試験

6. 1 暴露場所

土中環境における暴露試験の代表的な地点は以下に示すとおりである。

(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(関東ローム層)	東京都 武蔵野
・酸性硫酸塩土壌	島根県 掛屋干拓地
・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

6. 2 暴露環境の測定項目

土木用高分子系材料の暴露試験においては、劣化因子の観測を実施することが望まれる。標準的な測定項目として、下記のものが挙げられる。

- ・土壌の性質(泥炭、砂、火山灰、鉍滓、処理土など)
- ・土壌中の混在物質(無機、有機の化学物質)
- ・含水比
- ・地下水中の溶解物質
- ・pH(土壌、地下水とも)
- ・微生物

6. 3 試験体

供試体の標準的な形状は平板で、300 × 300mmを大きさとする。厚さは原寸厚さ、または目的に応じて定めるものとするが、特に指定のないときは3～5mmを標準とする。

必要に応じて供試体の大きさの影響を調べるために、評価試験に適したスケールのものと、実物大に近いスケールのものの2種類以上の形状のものをを用いることも重要である。

6. 4 暴露の方法

土壌中の基本的な性質(泥炭、砂、火山灰、鉍滓、処理土など)の他、無機有機物質の含有、微生物の存在など複雑である。試験方法としては、埋設によって土に暴露し、土の環境としての性質と材料の性能を一定期間毎に測定する方法により評価する。

埋設の深さは実構造物と同じ深さとするが、未定の場合は0.5、1.0、1.5mの3水準を標準とする。(表層に近い部分においては酸素のより大きい影響が、また深い部分においては地下水のより大きい影響が予想される。)

隣り合う試験片との距離は、300mm以上とする。埋め戻しはもとの発生土で行う。

試験片の掘り下げは、試験片の損傷を与えないように慎重に行う。試験片埋設の際、試験片

より十分大きいプラスチック製ネットの中に埋設するのも良い。

各試験片に識別のため標識を付すると共に、埋設箇所の正確な地図を残す。同一時期に掘り上げる試験片をプラスチック製ロープで群別し、末端に杭を結び付けておくが良い。

6. 5 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、十分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

屋外暴露試験の実施期間は、概ね5年間以上が望ましい。ただし、耐久性の予測が充分に可能な促進暴露試験の結果が得られている場合には、この期間を短縮することが出来る。

6. 6 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

7. 応力のかかった条件での暴露試験

応力のかかった条件での暴露試験としては、繰り返し応力による疲労、長期荷重によるクリープなどの試験がある。各種の自然環境下で、応力を負荷した暴露試験を行うことは困難を伴うことが多いが、不可能ではない。この場合、実際の応力状態を模擬した環境を設営して暴露試験を行うこととなる。

7. 1 応力下での材料条件の記録

暴露条件に適合した暴露環境測定項目の他に下記の項目の記録が必要である。

① 疲労

応力の性質（圧縮、引張、曲げ）

応力の大きさ（最大応力、最小応力、平均応力）

荷重の繰り返し数

② クリープ

応力の性質（圧縮、引張、曲げ）

応力の大きさ（最大応力、最小応力、平均応力）

荷重が加わる時間

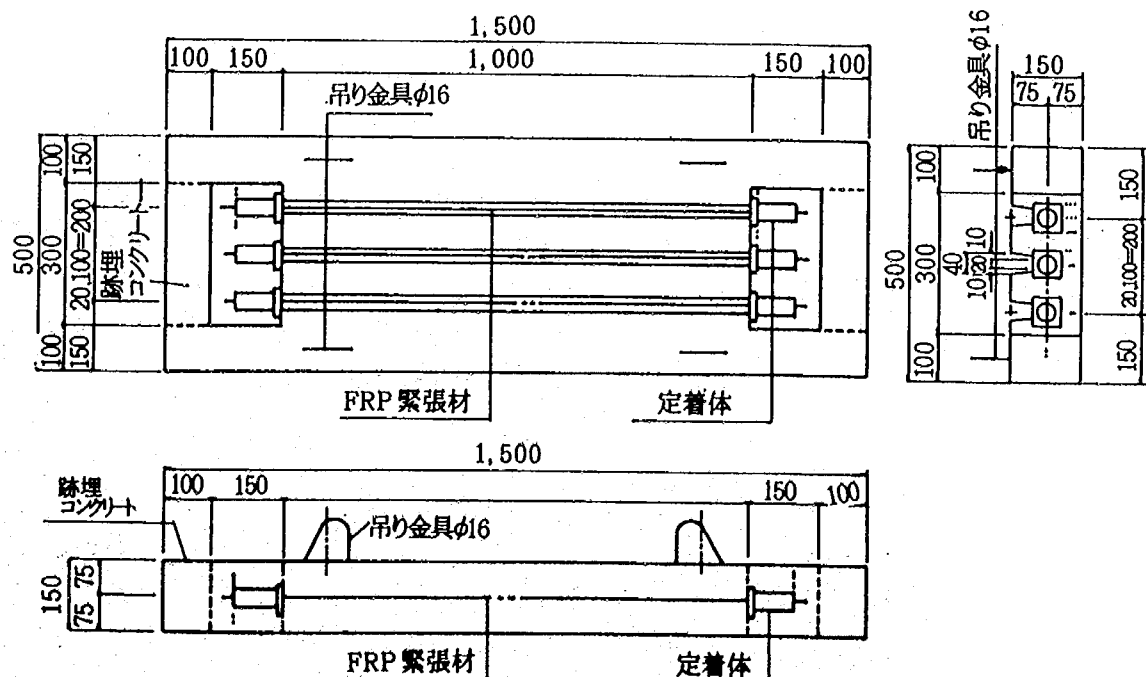
7. 2 暴露の方法

土木材料の場合、常に相当の応力がかかった状態で使われる材料が多い。そのような用途の場合、応力がない場合と比較して、異なる劣化が起きることがしばしば起きる。このような場合は応力を与えた状態での暴露試験を行うことが望ましい。

付録の写真に応力下の暴露試験の例（シート用ゴム、FRPケーブル）を示す。シート用ゴムの例は、引張り応力を加えた状態で、大気暴露試験を行っているものである。また、FRPケーブルの例はプレストレストコンクリート緊張材としての用途を想定しているため、定着具をつけて標準的な緊張力を加えた状態で暴露試験を行っているものである。

FRPケーブルの応力下の暴露試験の例は、下記の通りである。

平面図



7. 3 暴露試験の期間

土木用高分子系新素材の暴露試験の期間は、人工環境劣化試験との相関が充分に取りうる時間実施することが望ましい。耐久性を予測できる時間の長さは、暴露試験の期間によって影響を受けるので、耐久性予測が必要な時間に、十分な長さに暴露試験実施期間を設定する必要がある。

原則としてすくなくとも5年以上の暴露試験の継続が望ましい。

7. 4 評価項目

土木構造物の使い方・機能によって、同じ材料でも要求される性能・品質が異なるため、要求される性能を整理し、それに応じた最適の評価項目および方法を決定する。

F R Pケーブルの場合は、外観調査、破断等損傷の有無、残存強度の測定、引張り強度、引張り弾性係数を評価する。

8. その他の環境における暴露試験

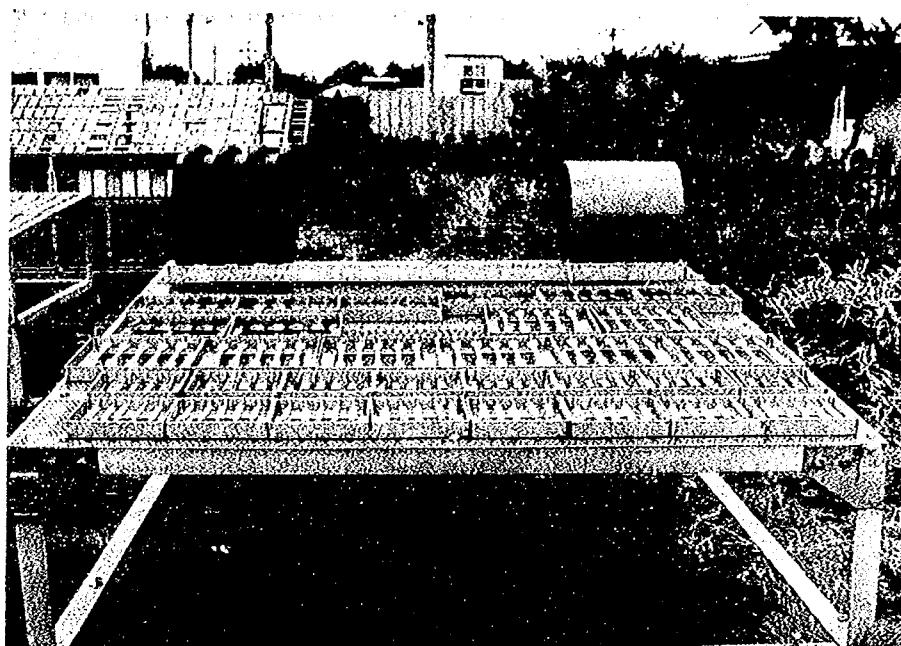
その他の環境における暴露試験には、例えば、温泉地帯や下水道施設の酸性環境などが挙げられる。

〔付録〕

暴露試験の実施例

1. 大気中環境での暴露試験

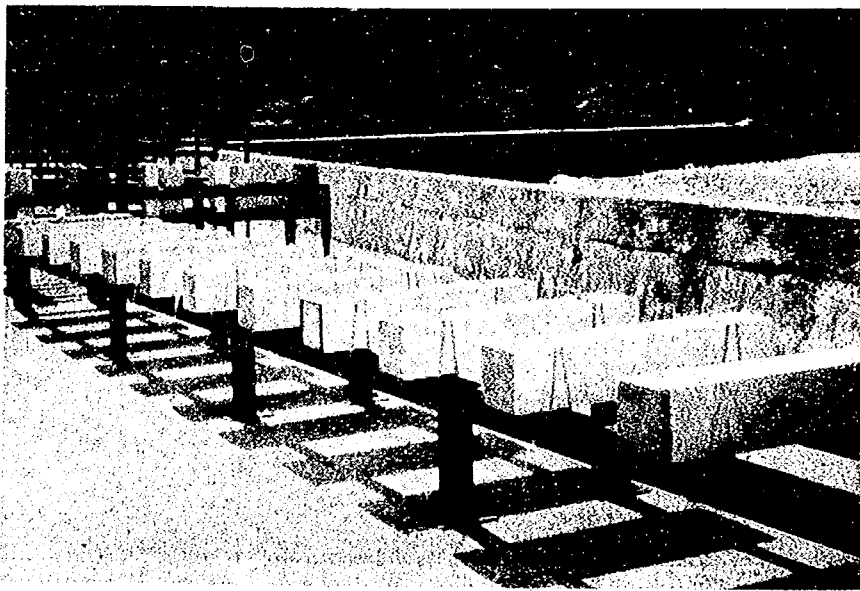
写真一 に5° 傾斜架台による暴露試験の実施例を示す。この例では実物から切り出した試験片とともに、実物大の材料（プラスチック管）の暴露も行っている。



2. 沿岸環境での暴露試験

沿岸での暴露試験は、暴露場の立地条件によって暴露方法を考慮する必要がある。大気中の暴露試験の場合は、大気環境における暴露試験方法と同様に実施する。但し、太陽光と飛来塩分の影響のどちらかを重視するかによって設置のしかたは異なることがある。この決定は実物の構造物がどのような環境に曝されるか、および主要な劣化要因は何か、などを考慮して行う。

写真一 は太陽光による影響を重視した、沿岸環境での暴露試験の実施例（コンクリート用塗料）である。太陽光が妨げられないような立地を選んでいる。また写真二 は飛来塩分の影響を重視した、沿岸環境での暴露試験の実施例（コンクリート用塗料）である。海岸はほぼ西に面していて午前中は太陽光が妨げられるが、塩分の影響が非常に強い場所を選んでいる。



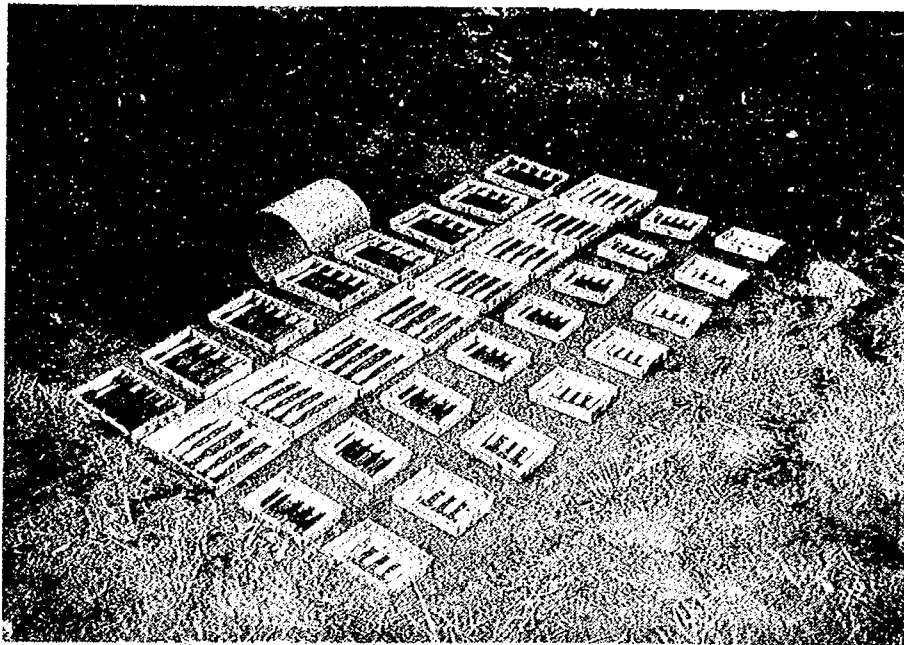
3. 土中環境での暴露試験

土中の劣化因子としては、化学的環境因子、土圧、微生物などが主な要因である。これらの要因での耐環境性を試験するために、供試体を土中にうめる試験を行う。

供試体には予想外の応力がかからぬように注意を要する。土中に埋設後は人や車などが入るか否かを決め、入らない場合は立入り禁止などの措置を講ずる。

供試体の位置については、後ほど供試体の回収を行う際の便を考慮し、正確に記録することが必要である。

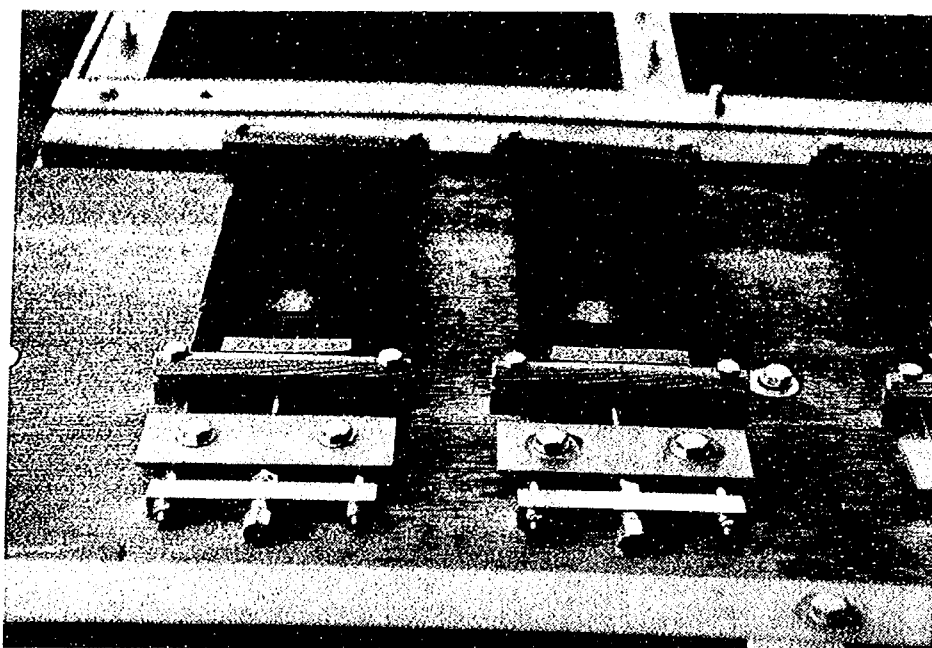
写真一 に実施例を示す。



4. 応力下の暴露試験

土木材料の場合、常に相当の応力がかかった状態で使われる材料が多い。そのような用途の場合、応力がない場合と比較して、異なる劣化が起きることがしばしば起きる。このような場合は応力を与えた状態での暴露試験を行うことが望ましい。

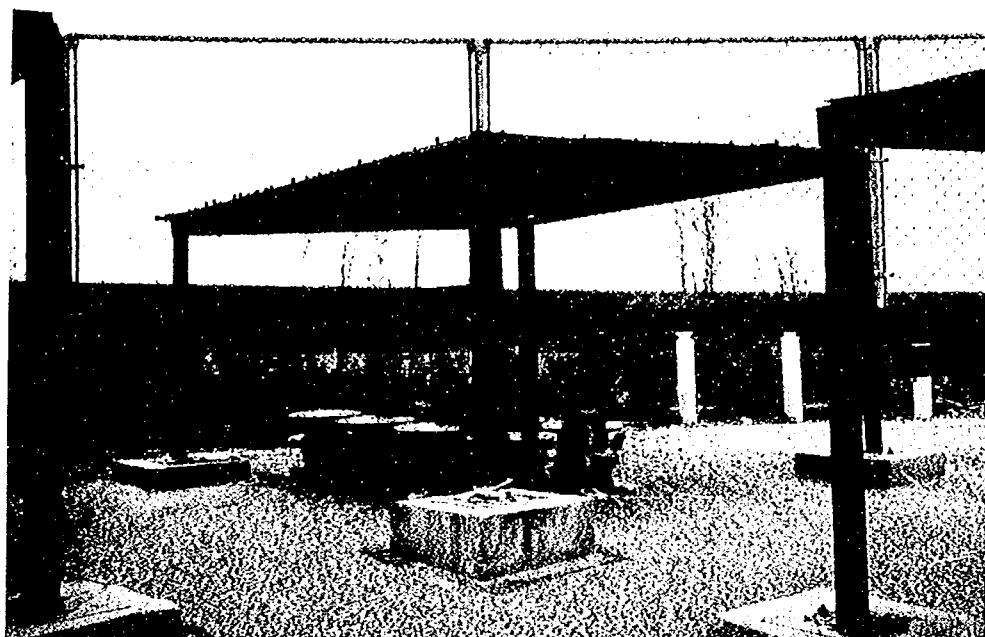
写真一 に応力下の暴露試験の例（シート用ゴム，FRPケーブル）を示す。シート用ゴムの例は、引張り応力を加えた状態で、大気暴露試験を行っているものである。また、FRPケーブルの例はプレストレストコンクリート緊張材としての用途を想定しているため、定着具をつけて標準的な緊張力を加えた状態で暴露試験を行っているものである。



5. 環境模擬試験

環境条件を実際条件に近い状態で暴露試験を行うことは、有効な暴露試験方法となる。

写真一 はゴム支承の環境に近づけるため、地面にごく近いところに、屋根を設けた暴露試験を行っているものである。



土木用高分子系新素材の 促進劣化試験方法（案）

1. 適用範囲

この試験方法は、土木用高分子系新素材の物理的・化学的性質の耐久性を推定するために、試験体の促進劣化試験を行う際に適用する。

2. 促進劣化試験の種類

促進劣化試験の種類には下記のものがある。

①浸せき試験

- 1) アルカリ溶液浸せき試験
- 2) 薬品浸せき試験
- 3) 塩水浸せき試験
- 4) 環境水浸せき試験
- 5) 水浸せき試験
- 6) 煮沸試験

②ウェザリング試験

③湿潤冷熱サイクル試験

④熱劣化試験

⑤オゾン劣化試験

⑥耐微生物試験方法

⑦クリープ試験方法

⑧疲労試験

⑨その他

- 1) 砂混入水の管内循環試験
- 2) 塩水噴霧を含むサイクル試験

3. 試験対象材料

この試験方法は、一般的な土木用高分子系新素材に適用可能である。参考までに、ここでは下記の素材の具体的な土木用途について例を示した。

（素材）

- ①FRP（ポリエステル）
- ②ゴム
- ③ゴム
- ④プラスチック（ポリエチレン）
- ⑤プラスチック（エポキシ樹脂）
- ⑥FRP（エポキシ-炭素繊維）

（土木用途の例）

- コンクリート用永久型枠
防水シート
橋梁用支承
下水管
コンクリート-繊維接着剤
橋梁用ケーブル

4. 促進劣化試験項目の選定

促進劣化試験項目は材料が実際に使用される際の環境、条件、などを勘案して、最も適したものを選定する。ひとつの方法に特定する必要はなく、場合によっては複数の方法を組み合わせることも必要である。

具体的な土木用途への利用の際の促進劣化試験項目は、以下のようになる。

表一 促進劣化試験項目の例

	永 久 型 枠	防水材 シート	ゴ ム 支 承	プラスチック 管	接着剤	橋梁用 ケーブル
①浸せき試験						
1) アルカリ溶液浸せき試験	○	○			△	○
2) 薬品浸せき試験	○			○		
3) 塩水浸せき試験	○					
4) 環境水浸せき試験			○			
5) 水浸せき試験						
6) 煮沸試験						
②ウェザリング試験	○	○	○		○	○
③湿潤冷熱サイクル試験					○	○
④熱劣化試験	○	○	○			
⑤オゾン劣化試験		○	○			
⑥耐微生物試験方法				△		
⑦クリープ試験			○			○
⑧疲労試験			○	○		○
⑨その他						
1) 砂混入水の管内循環試験				○		
2) 塩水噴霧を含むサイクル試験						

(1) FRP

①永久型枠の使用環境

外面は大気中、内面はコンクリートに接する。

②永久型枠の劣化因子と促進劣化試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) 紫外線	ウェザーメータ
c) 水(雨雪)	浸せき試験、ウェザーメータ
d) 海水	海水浸せき試験
e) 大気汚染物質(SO _x , NO _x)	薬品浸せき試験
f) コンクリート	アルカリ溶液浸せき試験

③評価項目

a) 熱劣化試験	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度
b) ウェザーメータ	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度
c) アルカリ溶液浸せき試験	コンクリートとFRPの付着強度、限界強度
d) 海水浸せき試験	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度 コンクリートへの塩分浸透量

(2) ゴムシート

①ゴムシートの使用環境

止水シートとして、共同溝・貯水池などに用いられる。

凹凸部分が応力集中(引張応力、引裂応力)を受けやすい。構造物によっては直射日光をうける場合もある。

②ゴムシートの劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) オゾン	オゾン劣化試験
c) 紫外線	ウェザーメータ
d) 伸び時の劣化	熱劣化試験
e) (総合)	(大気暴露試験・土中暴露試験)

③評価項目および方法

a) 熱劣化試験	引張強度、破断伸び、引裂強度、接着強度
b) オゾン劣化試験	表面状態
c) ウェザーメータ	引張強度、破断伸び
d) 伸び時の熱劣化試験	表面状態

(3) ゴム支承材(水平力分散用を含む)

①ゴム支承材の使用環境

橋梁の橋脚、橋台上

海上橋等の厳しい環境条件への適用拡大

②ゴム支承材の劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 温度	熱劣化試験
b) オゾン	オゾン試験
c) 水	水中浸せき試験 ウェザーメータ
d) クリープ	疲労試験
e) 繰返し荷重	クリープ試験

③評価項目および方法

a) 熱劣化試験	引張強度、弾性率、破断伸び（破断状況）
b) オゾン劣化試験	表面状態
c) 環境水浸漬試験	引張強度、破断伸び（破断状況）
d) ウェザーメータ	引張強度、破断伸び（破断状況）
e) クリープ試験	厚さの変化
f) 疲労試験	引張強度、接着強度、弾性率

(4) パイプ

①パイプの使用環境

土木では下水道管としての用途が多い。

②パイプの劣化因子と試験項目

劣化因子	試験項目
a) 薬品	薬品浸せき試験
b) 土砂	砂混入水の管内循環試験
c) 荷重	クリープ試験 疲労試験

③評価項目および方法

a) 薬品浸せき試験	重量変化、外観変化、引張強度、破断伸び
b) 砂混入水の管内循環試験	管壁減耗厚さ
c) クリープ試験	経過時間による内径の変化量、試験後のたわみの回復量
d) 疲労試験	疲労破壊に到るまでの繰返し回数

(5) コンクリート補強用繊維接着剤

①コンクリート補強用繊維接着剤の使用環境

コンクリートと接触

外面は大気中に露出

②コンクリート補強用繊維接着剤が劣化因子と試験項目

劣化因子

試験項目

a) 湿潤・冷熱サイクル ———— 湿潤冷熱サイクル試験

b) 紫外線 ———— ウェザーメータ

③評価項目および方法

a) 湿潤・冷熱サイクル 外観変化（割れ・膨れ・剥がれ）、付着強度

b) ウェザーメータ 外観変化（割れ・膨れ・剥がれ）、付着強度

表一 土木用高分子系新素材と使用環境の例

使用する環境		永 久 型 枠	防水材 シート	ゴ ム 支 承	プラスチック 管	接着剤	ケール
大 気 中	日光当たる	○					
	日光当たらない			○			○
湿 潤	日光当たる	○					
	日光当たらない			○			○
主として水中、水中 〔淡水〕			○		○		
主として水中、水中 〔海水〕							
コンクリート中、コンクリ ートに接する		○				○	○
土 中			○		○		
応 力							○
その他							

表一 環境と促進劣化試験項目

	大 気 中		湿 潤		主水 として (淡水 中)	主水 として (海水 中)	コン クリ ー トに 接 触 す る	土 中	応 力	そ の 他	備 考
	日 光 あ た る	あ た ら な い	日 光 あ た る	あ た ら な い							
①浸せき試験											
1)アルカリ溶液 浸せき試験							○				
2)薬品浸せき試験										○	
3)塩水浸せき試験						○					
4)環境水浸せき試験			○	○	○			○			
5)水浸せき試験			○	○	○			○			
6)煮沸試験											
②ウェザリング試験	○	△	○								
③湿潤冷熱サイクル試験	○	○	○	○			○				
④熱劣化試験	○		○								
⑤オゾン劣化試験											主にⅢに適用
⑥耐微生物試験方法								○			
⑦クリープ試験方法											静的応力の あるとき適用
⑧疲労試験											動的応力の あるとき適用
⑨その他									○		ゲージに適用
暴露試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

6. 促進劣化試験の方法

6. 1 浸せき試験

(1)試験目的： 各種の水溶液等に試験片を浸せきすることによる劣化試験である。

・関連規格：JIS K7070 『繊維強化プラスチックの耐薬品性試験方法』

JIS K7114 『プラスチックの耐薬品性試験方法』

JIS K6761 『一般用ポリエチレン管』6.6 浸せき試験

JIS A(案) 『コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法』

JIS A(案) 『セメントペーストの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法』

コンクリート塗装材に関する諸規格（例えば『塩害対策指針（道路協会）』など）

JSWAS K-2 『下水道用強化プラスチック複合管』6.5 浸せき試験

(2)試験の種類

アルカリ水溶液浸せき試験	コンクリート中における耐アルカリ性の試験
薬品浸せき試験	各種環境における耐化学試験性の試験
環境水浸せき試験	使用が予定されている環境水に対する耐水性の試験
塩水浸せき試験	塩水に対する耐水性の試験
水浸せき試験	耐水性の試験

(3)試験装置：試験装置には図のようなものを用いる。

浸せき容器、恒温装置

(4)試験条件

材料と用途		想定条件	試験条件					
			アルカリ	薬品	塩水	環境水	水	煮沸
FRP	コンクリート永久型枠	内面：コンクリート、外面：大気	○	○	○			
ゴム	橋梁用支承	降雨水、露など				○		
ガラス	下水道管	内面：下水、外面：土中		○				
FRP	橋梁用ケーブル	コンクリート、応力	○					
その他			△	△	△	△	△	△

(5)試験方法

①アルカリ水溶液浸せき試験

試験の目的：コンクリートから溶出するアルカリ成分による変質劣化等を試験する。

供試体：300×300×70mm（コンクリート用接着剤）

300×300×3~5mm または 150×70×3~5mm（FRP単体）

1000mm 太さは製品のとおり（FRPケーブル）

試験液：飽和水酸化カルシウム＋3％塩化ナトリウム水溶液

飽和水酸化カルシウム＋3％水酸化ナトリウム水溶液

試験条件：温度は20℃、40℃、60℃から選ぶ

時間は30日、90日、180日、270日、1年とする。

F R P ケーブルは応力をかけながら実施することが望ましい。

応力は破断強度の0.5～0.9の間で選ぶ。

評価方法

コンクリートとF R P の付着強度、限界強度（F R P 永久型棒）

外観変化、引張り強度、引張り弾性係数（F R P ケーブル）

②薬品浸せき試験

a) 薬品浸せき試験1

試験の目的：熱硬化性樹脂を使用したF R P の耐薬品性を試験する。

供試体：300×300×3~5mm または 150×70×3~5mm

試験液：

主な試験条件：温度を恒温に保持する。浸せき期間を1年間とし、浸せき前の測定のほか、

30、90、180、270日及び1年をそれぞれ測定の時期とする。

評価方法：外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度

b) 薬品浸せき試験2（下水）

試験の目的：下水道における化学的な耐久性を試験する。

供試体：引張り強度測定用試験片（ダンベル状）

または 175×70×3~5mm

試験液：水

10%食塩

40%水酸化ナトリウム

30%、40%硝酸

30%、40%硫酸

試験条件：水

60℃、5時間

10%食塩

60℃、5時間

40%水酸化ナトリウム

60℃、5時間

40%硝酸

60℃、5時間

40%硫酸

20℃、5時間、48時間

30%硝酸

20℃、5時間、48時間

30%硫酸

60℃、5時間

評価方法：重量変化、外観変化、引張強度、破断伸び

③塩水浸せき試験

試験の目的：海洋環境で、海水成分による変質劣化特性を試験する。

供試体：300×300×3~5mm または 150×70×3~5mm

試験液：3%塩化ナトリウム水溶液、海水

試験条件：20℃、40℃、60℃から適当な温度を選択する。浸せき期間を1年間とし、浸せき前の測定のほか、30、90、180、270日及び1年をそれぞれ測定の時期とする。

評価方法：外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度、コンクリートへの塩分浸透量

④環境水浸せき試験

試験の目的：海洋・河川・湖沼などの水、あるいは結露・降雨（雪）・地下水などの水分が関与する変質劣化を試験する。暴露試験のかわりに実際の環境の水をもって、条件を整えた浸せき試験を行うものである。

供試体：300×300×3~5mm または 150×70×3~5mm

試験液：利用予定または試験対象の環境水

（海洋・河川・湖沼・結露・降雨・温泉などの環境水）

試験条件：浸せき液は環境水。温度は20℃または40℃とする。浸せき期間を1年間とし、浸せき前の測定のほか、30、90、180、270日及び1年をそれぞれ測定の時期とする。

評価方法：破断伸び、接着強度、破損の種類、弾性率

⑤水浸せき試験

試験の目的：一般に水に対する耐水性の試験を行うものである。環境水浸せき試験が行いにくい時に、本試験を行って参考試験結果とすることができる。

供試体：300×300×3~5mm または 150×70×3~5mm

試験液：蒸留水またはイオン交換水

試験条件：温度は20℃または40℃とする。浸せき期間を1年間とし、浸せき前の測定のほか、30、90、180、270日及び1年をそれぞれ測定の時期とする。

評価方法：破断伸び、接着強度、破損の種類、弾性率

⑥煮沸試験

試験の目的：塗膜等の耐水密着性や接着剤の耐水接着力の判定に有効である。

関連規格：JIS K 5400 7.3

試験の方法：試料は150×70×2 mmを標準とし4枚作成する。試験片1枚についてビーカー1ℓを1個ずつ用意し、深さ約80 mmまで水をいれてビーカーの中に沸騰石をいれ、ビーカーを熱して小さな泡が毎秒2～3個ずつ出る程度に保つ。

この中に試験片を乾燥の際の上端を下にして、下端をビーカーの底から約20 mm上にあるようにつるして、約60 mmの深さまで浸し、規定時間置き、そののち取り出して直ちに評価試験を行う。その後2時間室内に静置し、再び評価を行うものとする。

評価試験：目視外観調査（しわ、ふくれ、われ、はがれなど）

6. 2 ウェザリング試験

(1)試験の目的：一般大気環境で、主として耐候性を促進的に試験する。

(2)試験装置：サンシャインウェザーメータ（JIS B 7753）

キセノンウェザーメータ（JIS B 7754）

ハロゲンランプウェザーメータ

超エネルギー照射試験機

(3)試験体

材料と用途		供試体形状
FRP	コンクリート永久型枠	150×70×3~5mm の標準寸法又は関連材料規格による。
ゴム	防水シート	幅70~80mm, 長さ 150×300mm, 厚さは2~5mmとする
ゴム	橋梁用支承	幅70~80mm, 長さ 150×300mm
コンクリート-繊維補強用接着剤		幅70~80mm, 長さ 150×300mm
その他		幅70~80mm, 長さ 150×300mm

(4)試験条件

①サンシャインウェザーメータ

500、1000、2000時間において評価するのを標準とする。また特に耐久性の高い材料については、4000時間についても実施することが望ましい。

ブラックパネル温度63℃、120分中18分間の水スプレーを標準とする。

試料面放射照度 285 W/m² (300~700nm)

②キセノンウェザーメータ

500、1000、2000時間において評価するのを標準とする。また特に耐久性の高い材料については、4000時間についても実施することが望ましい。

ブラックパネル温度63℃、120分中18分間の水スプレーを標準とする。

試料面放射照度 390 W/m² (300~700nm)

③ハロゲンランプウェザーメータ

ブラックパネル温度と槽内湿度で管理し、次の3つのサイクル試験から適切なものを選ぶ。

①常時光照射（スプレーサイクル 分毎に 秒）

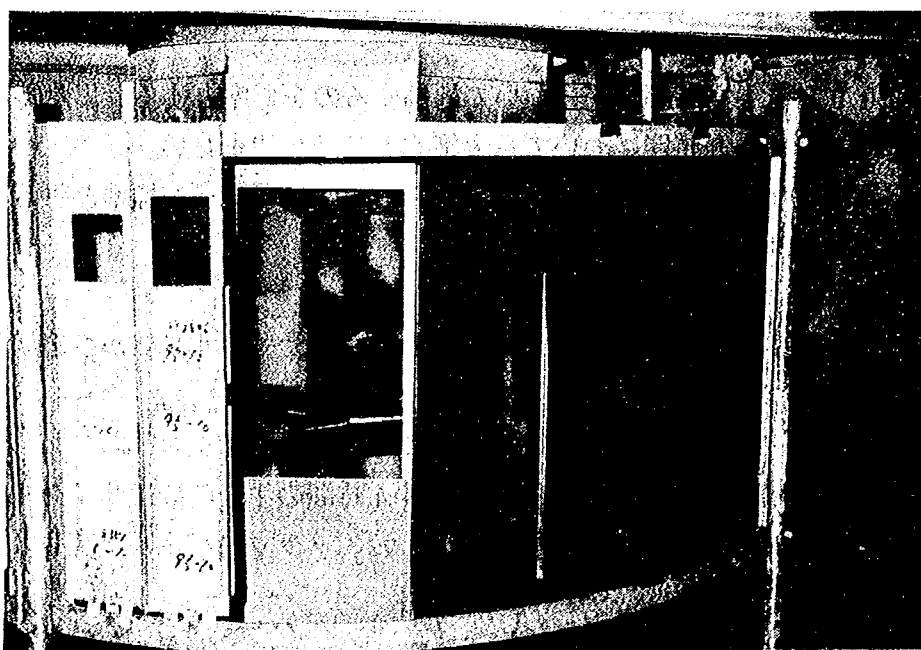
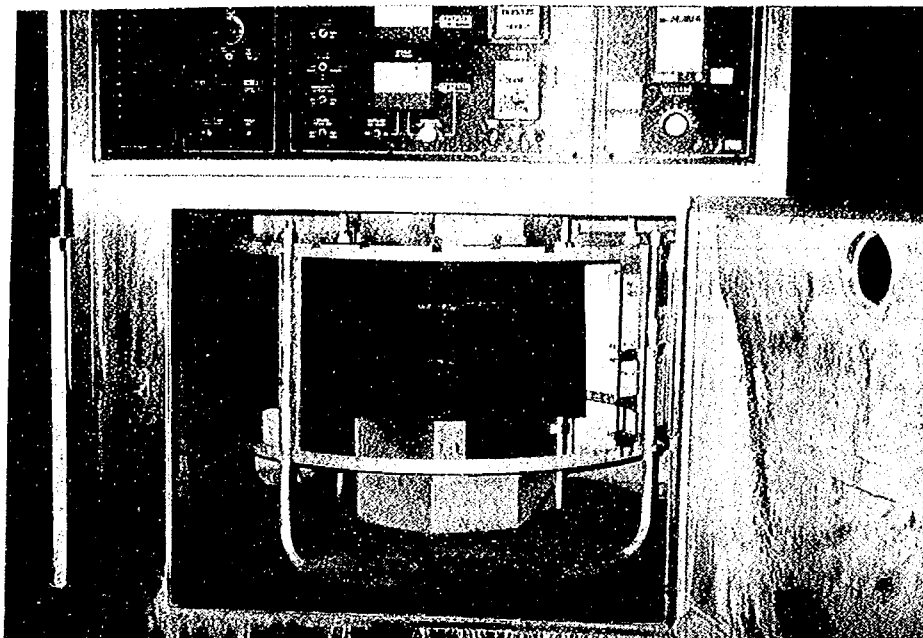
②光照射20時間→暗黒・結露条件4時間の24時間1サイクル

③光照射4時間→暗黒4時間→暗黒・結露条件4時間の12時間1サイクル

試料面放射照度 500~900 W/m² (300~400nm)、ブラックパネル温度63℃が標準的条件である。2000時間まで試験することが望ましい。

(5)評価方法

- ・表面の観察（クラックなど）
- ・変褪色
- ・チョーキング
- ・引張強度、曲げ強度など



ゴムシートのサンシャインウェザーメータによる促進劣化試験の例

6. 3 湿潤冷熱サイクル試験

(1)試験の目的：水分・塩基性物質・冷熱が作用する劣化環境として、凍結融解・加水分解などによる変質劣化や接着性への影響を試験する。

(関連規格：JIS A6910『複層仕上塗材』5.9 温冷繰返し試験)。

(2)試験装置： 浸漬深さ・水温を設定できる恒温水槽

(3)供試体：

コンクリート-繊維用接着剤

300 × 300×70mmのコンクリートの全面に試験の繊維および接着剤を施工したものを作成する。

粉体塗装品

150 × 70 × 3.2mmの鋼板に塗装を施したもの。

(4)試験条件：

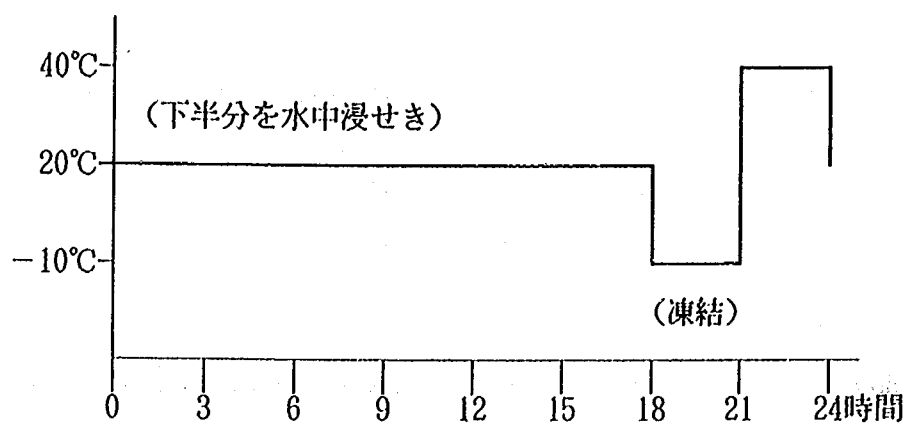
条件名	土木用途	試験条件
A 1 サイクル 24時間	コンクリート- 繊維接着剤	①20℃で18時間、試験体の下半分を水中に浸漬 ②-10℃で3時間、気中凍結 ③40℃で3時間、気中で融解 上記を1サイクルとし、10サイクル繰り返す
B 1 サイクル 10時間	粉体塗装	① -30℃ (0 %RH) 3時間 ② -30℃ (0 %RH) から80℃ (65%RH) まで昇温 2時間 ③80℃ (65%RH) 3時間 ④80℃ (65%RH) から -30℃ (0 %RH) まで降温 2時間 上記を1サイクルとし、10、20、30サイクル繰り返す
C 1 サイクル 14時間	粉体塗装	① -30℃ (0 %RH) 3時間 ② -30℃ (0 %RH) から50℃ (95%RH) まで昇温 2時間 ③50℃ (95%RH) 3時間 ④50℃ (95%RH) から80℃ (65%RH) まで昇温 1時間 ⑤80℃ (65%RH) 3時間 ⑥80℃ (65%RH) から -30℃ (0 %RH) まで降温 2時間 上記を1サイクルとし、10、20、30サイクル繰り返す
D 1 サイクル 10時間	粉体塗装	① -30℃ (0 %RH) 3時間 ② -30℃ (0 %RH) から80℃ (65%RH) まで昇温 2時間 ③80℃ (65%RH) 3時間 ④80℃ (65%RH) から -30℃ (0 %RH) まで降温 2時間 上記を1サイクルとし、10、20、30サイクル繰り返す 凍結融解試験：水に全浸せきまたは半浸せきで、条件Bと同じ条件によるサイクル試験を行う)

(5)評価方法

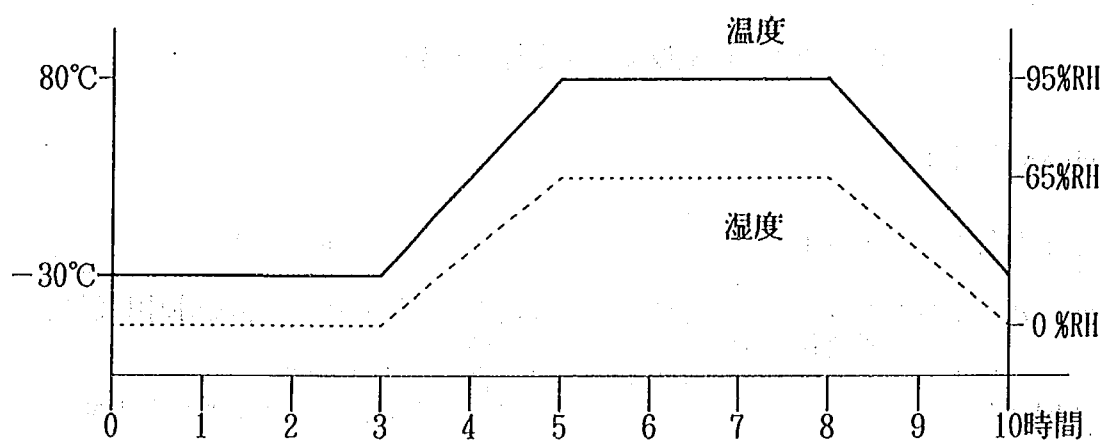
コンクリート-繊維接着剤：外観変化（割れ・膨れ・剥がれ）、付着強度

粉体塗装品：塗膜の剥離、変形、寸法変化、鋼材の発錆を調べる。

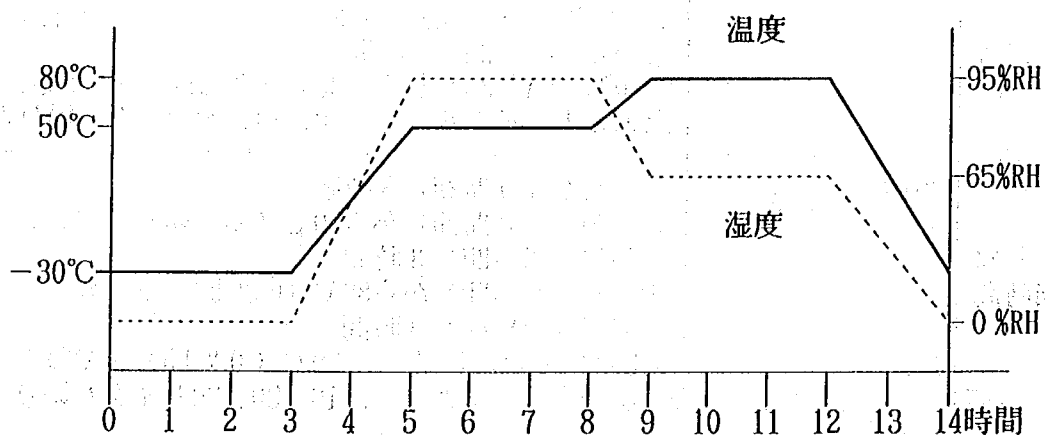
条件A



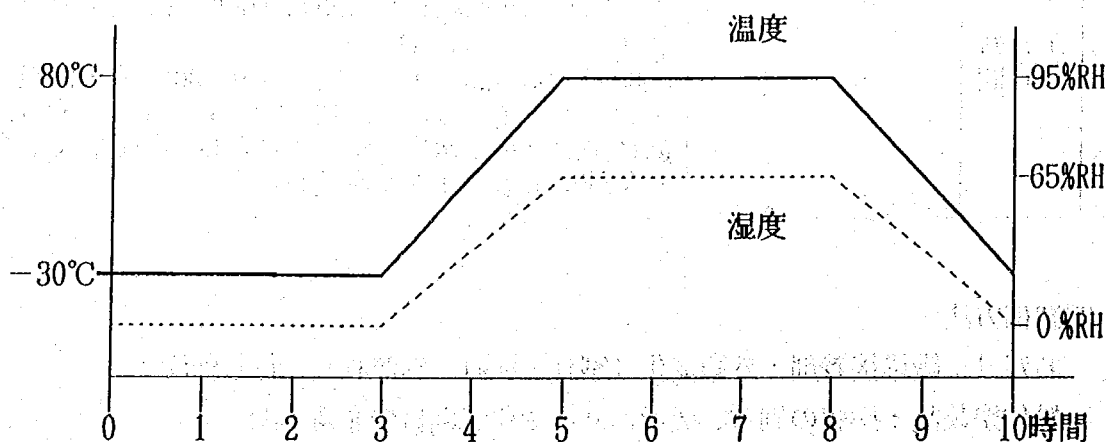
条件B



条件C



条件D



(水に全浸せきまたは半浸せき)

6. 4 熱劣化試験

(1)試験の目的：太陽ふく射による材料温度の上昇などの、熱 による劣化特性を試験する。

(2)試験装置：ギアー式老化試験機を使用する。

(関連規格：JIS K6301 6. (ゴム)、JIS K7212 (熱可塑性プラスチック)

(3)試験体

供試体は実構造物と同じ方法によって作成されることが望ましい。実物からの切り出しにより作成することは、推奨される一つの方法である。

①試験体形状

試験体の形状は、下記の通りとする。

材料と用途の例		供試体形状
FRP	コンクリート永久型枠	300× 300×3~5mm の標準寸法又は関連材料規格による。
ゴム	防水シート	500× 500 mm 厚さは製品のまま (JIS A 6008に準拠)
ゴム	橋梁用支承	製品の実物、または縮小モデルをそのまま用いる。
その他		製品がある場合は、製品に近い状態で試験片をつくる。 ない場合には 300× 300×3~5mm を標準寸法とする。

②試験体の数

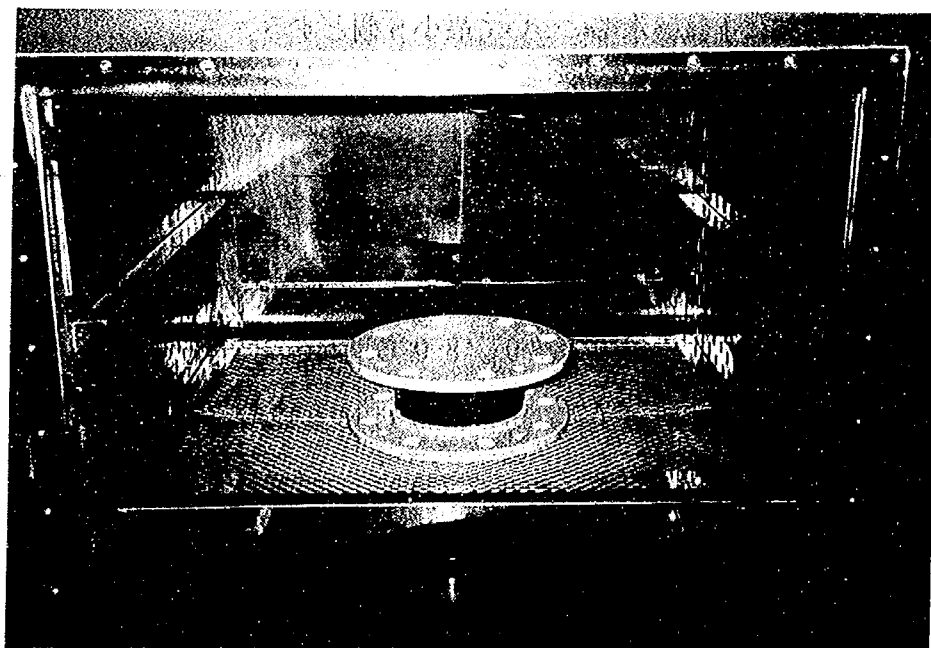
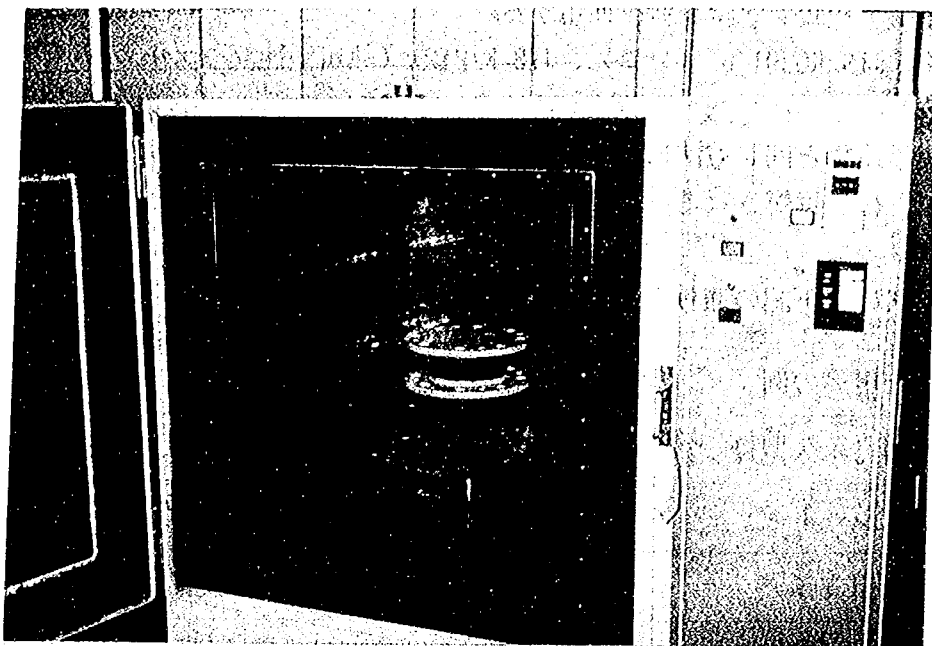
試験体の数は各試料毎に 1 試験水準について最小 5 個とする。

(4)試験条件

材料と用途の例		温 度	時 間
FRP	コンクリート永久型枠	60, 70, 80℃	24、48、96、 336、1000時間
ゴム	防水シート	60, 70, 80℃	24、48、96、 168、 336時間
ゴム	橋梁用支承	60, 70, 80℃	24、48、96、 168、 336時間
その他		60, 70, 80℃	24、48、96、 168、 336時間

(5)評価項目

FRP・コンクリート永久型枠	外観変化、接着強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、衝撃強度
ゴム防水シート	引張強度、破断伸び、引裂強度、接着強度
ゴム橋梁用支承	引張強度、弾性率、接着強度、破断伸び (破断状況)



橋梁用ゴム支承の熱劣化試験の例

6. 5 オゾン劣化試験

(1)試験の目的：大気中に含まれる、オゾンによる変質劣化を試験する。

(2)試験装置：オゾン劣化試験機

(3)関連規格：JIS K6301 16.

(4)主な試験条件

オゾン濃度 50pphm , 40℃

伸び歪：5, 10, 20, 30, 50%かけることも多い

6. 6 耐微生物試験

(1)試験の目的：土壌内に生息する微生物による変質劣化を試験する。

(2)試験装置：培養試験機

(3)試験の方法

①土壌中の微生物をペトリ皿の寒天培地上で静置培養する。（25～30℃程度）

②微生物を同定する。

③ペトリ皿中に殺菌した試験片を設置し、あらかじめ設定した時間、培養を続ける。

④試験片をとりだし殺菌したあと、評価試験を行う。

(4)評価試験

顕微鏡観察をも採用することが望ましい。

6. 7 クリープ試験

(1)一般高分子材料

(1)試験の目的：一定荷重が長期にわたって作用する場合の、機械的な特性変化を試験する。

(2)関連規格：JIS K6301 10. 圧縮永久ひずみ試験

JIS K7115 『プラスチックの引張クリープ試験方法』

JIS K7116 『プラスチックの曲げクリープ試験方法』

(3)試験装置：圧縮試験機（恒温機付き）

(4)試験の目的：〔引張クリープ〕一定の温度及び一定の湿度の条件下で、プラスチック及び強化プラスチックの試験片に対し、長時間一定の引張り荷重を加え、試験片の引張りクリープひずみを測定する。または、試験開始から試験片が規定する状態（破壊又はある規定された歪）に達するまでの時間を測定する。

〔曲げクリープ〕プラスチック及び強化プラスチックの一般的な3点曲げクリープ試験。一定の温度及び一定の湿度の条件下で、プラスチック及び強化プラスチックの試験片に対し、長時間一定の曲げ荷重を加え、試験片のクリープひずみを測定する。または、試験開始から試験片が規定する状態（破壊又はある規定された歪）に達するまでの時間を測定する。

(5)試験装置：圧縮試験機（恒温槽付き）、引張りクリープ試験機（恒温槽付き）、曲げクリープ試験機（恒温槽付き）

(6)主な試験条件：〔引張りクリープ〕負荷に要する時間は、原則として1～5秒以内。クリープ破壊測定を行う場合には、予備荷重を含む全荷重を試験荷重とするが、クリープひずみの測定には、予備荷重を含めない。クリープひずみの測定は、負荷に要

した時間の10倍の時間が経過した時点から開始する。

〔曲げクリープ〕 負荷に要する時間は、原則として1～5秒以内。クリープ破壊測定を行う場合には、予備荷重を含む全荷重を試験荷重とするが、クリープひずみの測定には、予備荷重を含めない。クリープひずみの測定は、負荷に要した時間の10倍の時間が経過した時点から開始する。

(2) パイプ（長期偏平試験）

- ・試験の目的： 偏平時のクリープ特性を試験する。
- ・関連規格： JSWAS K-5 『下水道用高剛性硬質塩化ビニル管』3. 外圧クリープ強度
- ・試験装置： 載荷装置、重錘、変位計
- ・供試体の形状： 管体 — 呼び径：300mmφ×長さ：600mm
- ・試験条件： 管体の内部に変位計を取付け、直径方向に、上下の平行な載荷板を用いて、重錘にて圧縮する。

試験温度：20±3℃×300hr, 35±3℃×100hr

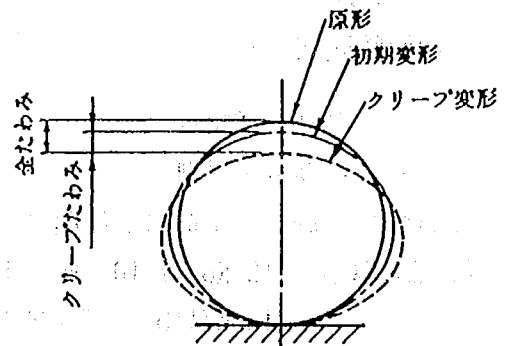
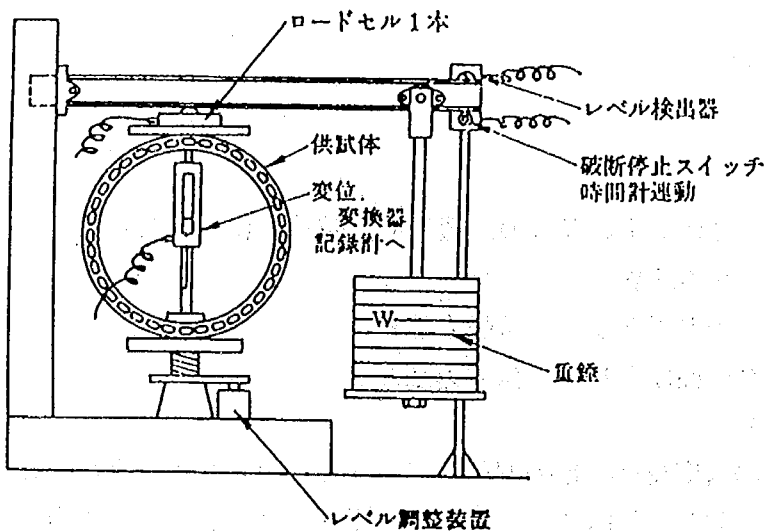


図 クリープたわみ

図 外圧クリープ試験装置

(3) FRP製橋梁用ケーブル

- ・試験の目的： 長期間、一定の引張り応力を加え、試験片の長さの変化または引張り応力の変化を調べる。
- ・試験の方法： 下図に示すようなコンクリート製枠に、FRPケーブル用定着装置を用いて、所定の荷重に緊張力を導入する。導入後は室温または20℃±2℃の暗所に保管する。
- ・評価項目： 残存緊張力、歪の変化（歪ゲージを使用する）

6. 8 疲労試験

a) ゴム系材料

- ・関連規格：
 - ・試験の目的：交通荷重など、機械的な負荷が反復して作用する場合の、機械的な特性変化を試験する。
- ・試験装置： 2軸疲労試験装置（一定剪断圧縮疲労試験機）
- ・供試体の形状： 長さ:300mm×幅:300mm×厚さ:60mm 程度の積層構造供試体
 - * 疲労試験後の供試体から切り出した試験片による。

b) 疲労試験パイプ系材料

- ・関連規格：JSWAS K-5 『下水道用高剛性硬質塩化ビニル管』 4. 外圧疲労強度
- ・試験の目的： 繰り返し荷重による、長期疲労特性を試験する。
- ・試験装置： 油圧サーボ疲労試験機（下図）
- ・供試体の形状： 管体 — 長さ:500mm を標準とする。
- ・試験条件：疲労試験に適した静たわみを与え、更に±3%の繰り返し動的たわみを1Hz, 10000cycle/dayで与え疲労現象が現れるまで継続する。
温度は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ を標準とする。

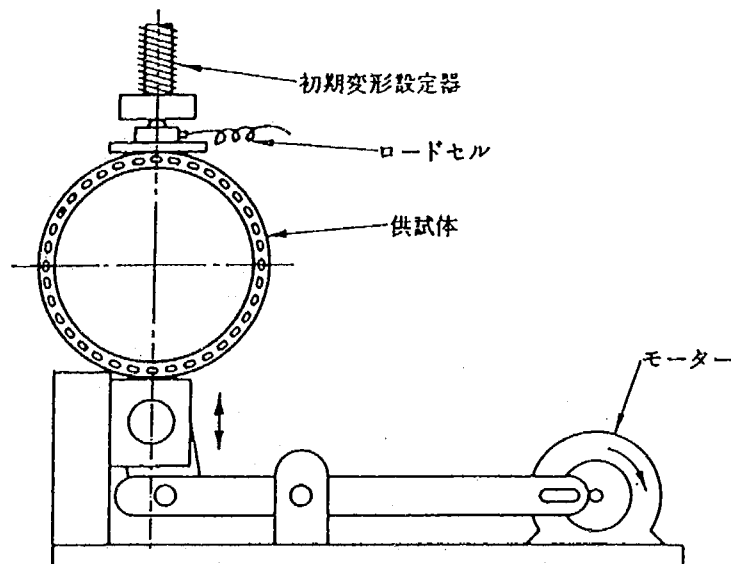


図 外圧疲労試験装置

c) 硬質プラスチック

- ・関連規格：JIS K7118 『硬質プラスチック材料の疲れ試験方法通則』
JIS K7119 『硬質プラスチック平板の平面曲げ疲れ試験方法』
- ・試験の目的：平板状の試験片の面に直交しかつ試験片の軸を通る面内で、曲げモーメントを繰り返し加えることにより、プラスチックの疲れの性質を測定する。
- ・試験装置：応力振り幅一定形又はひずみ振り幅一定形のいずれかの試験機
- ・主な試験条件：試験機の荷重繰り返し速度は、毎分1,500 ないし1,800 回とする。低ひずみ平面曲げ疲れ試験では、亀裂あるいは積層剝離による一定量の剛性低下をもって疲れ破壊の時期とする。なお、80%の剛性保持率に達した時期を疲れ破壊の時期とみなす。

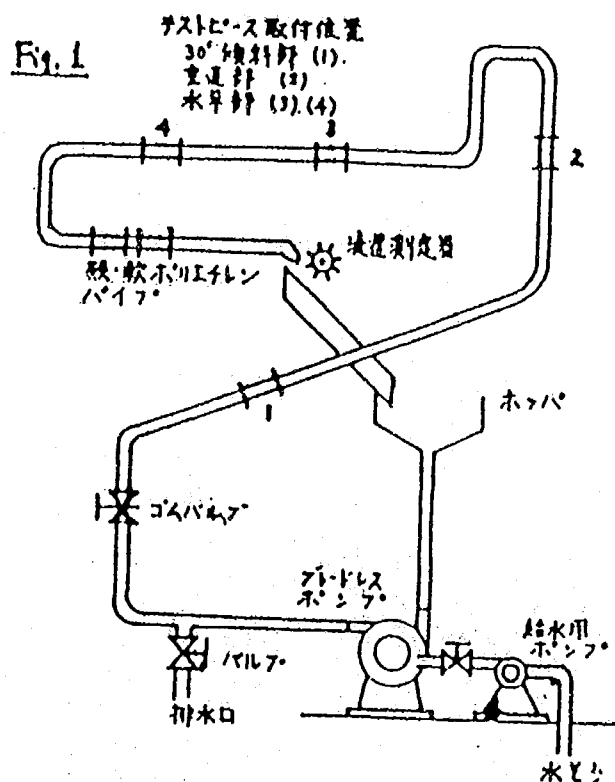
d) FRPケーブル

- ・試験の目的：橋梁用FRPケーブルの長期間使用時の繰り返し疲労の性質を試験する。
- ・試験の方法：試験対象のFRPケーブルを使用してプレストレスト部材を製作し、曲げ方向に疲労試験を行う。強度はひびわれ導入荷重の0.5～0.7とし、 10^8 回または破壊するまで繰り返し疲労試験を行い、試験後の供試体の状況を観察する。

6. 9 その他

(1) 砂混入水の管内循環試験

- ・試験の目的： 土砂混入水が管内を流れる際の管壁の減耗量を試験する。
- ・関連規格：
- ・試験装置： 管内，土砂水循環装置／サンドポンプ
- ・供試体の形状： 管体 — 口径：50mm ϕ ×長さ：200mm
- ・試験条件： 清水に粒径：0.074～2mm の砂を 6wt% 混入したものを流速：4m/sec において，
1, 2, 4, 6, 8day 試験



砂混入水の管内循環試験の実施例

(参考文献：日本機械学会第38期通常総会学術講演会（'61））

(2) 塩水噴霧を含むサイクル試験

(1)試験の目的：

主として金属（塗装）の組立品等を実施する。トンネル内や使用条件の厳しさが予想される場合に適用する。

(2)試験装置

複合腐食試験機

(3)試験条件

①塩水噴霧 35℃ 1.5時間

②試験槽温度 40℃ 湿度 65%以下 3.5時間

紫外線照射・SO₂ ガス40ppm (NO₂ ガスでも試験可能)

最初の10分間は水スプレーを行う

③試験槽温度 50℃ 湿度 97%以上 2.5時間

紫外線照射・SO₂ ガス40ppm

④試験槽温度 40℃ 湿度 65%以下 1時間

紫外線照射・SO₂ ガス40ppm

上記を1サイクルとして、5サイクル程度まで実施する。

付属資料 2

土木用高分子系新素材の品質

資料2 土木用高分子系新素材の品質等

今回検討の対象とした、土木用高分子系新素材の品質を以下にまとめた。

1. ゴム支承材（水平力分散用を含む）

項 目	試験方法	種別	規格値（単位）
静的せん断弾性率	JIS K 6301の13, 低伸度応力試験	CR	8 ± 1, (kgf/cm ²) 10 ± 1
		NR	8 ± 1, (kgf/cm ²) 10 ± 1
		SBR	12 ± 1.2 (kgf/cm ²)
硬さ（参考値）	JIS K 6301の5, スプリング式硬さ試験	CR	50 ± 5, (度) 60 ± 5
		NR	50 ± 5, (度) 60 ± 5
		SBR	65 ± 5, (度)
伸び	JIS K 6301の3, 引張試験	CR	440 以上 (%) 400 *1 以上 (%)
		NR	550 以上 (%) 500 *1 以上 (%)
		SBR	150 以上 (%)
引張強さ	JIS K 6301の3, 引張試験	CR	150 以上 (kgf/cm ²)
		NR	550 以上 (kgf/cm ²)
老化試験 25% 伸長応力変化率	JIS K 6301の6, 空気熱老化試験 100℃×70hr 70℃×70hr 70℃×70hr	CR	-10～+100 (%)
		NR	-10～+30 (%)
		SBR	-10～+30 (%)
		CR	-50以上 (%)
		NR	-50以上 (%)
		SBR	-50以上 (%)
伸び変化率	100℃×70hr 70℃×70hr 70℃×70hr	CR	-50以上 (%)
		NR	-50以上 (%)
		SBR	-50以上 (%)
圧縮永久ひずみ率	JIS K 6301の10, 圧縮永久ひずみ試験 100℃×22hr 70℃×22hr 70℃×22hr	CR	35以下 (%)
		NR	25以下 (%)
		SBR	50以下 (%)
耐オゾン性	JIS K 6301 の16, オゾン劣化試験 50±5 pphm, 20%伸長, 40℃×96hr 50±5 pphm, 20%伸長, 40℃×96hr 50±5 pphm, 20%伸長, 40℃×24hr	CR	肉眼でき裂のないこと
		NR	肉眼でき裂のないこと
		SBR	肉眼でき裂のないこと
耐水性 （重量変化率）	JIS K 6911の5, 吸水率試験 55℃×72hr	CR	10以下 (%)
		NR	10以下 (%)
耐寒性	JIS K 6301の14, 低温衝撃ぜい化試験	CR	-30 *2 以下 (℃)
		NR	-30 *2 以下 (℃)

（出典：道路橋支承便覧（日本道路協会）平成3年7月）

*1 製品から抜き取った試験片，製品裁断残片から製作したもの

*2 特に寒冷地では-40℃で確認が必要

2. ゴムシート
(ボックスカルバート防水用)

項 目	試験方法	種 別	規格値 (単位)
引張性能 引張強さ	JIS A 6008	加硫ゴム 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂	750以上 (N/cm ²) 50以上 (N/cm ²) 1000以上 (N/cm ²)
伸び率		エチレン酢ビ樹脂 加硫ゴム系 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂 エチレン酢ビ樹脂	2000以上* ¹ (N/cm ²) 1250以上 (N/cm ²) 450以上 (%) 450以上 (%) 200以上 (%) 450以上 (%)
引裂強さ	JIS A 6008	加硫ゴム 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂 エチレン酢ビ樹脂	250以上 (N/cm ²) 30以上 (N/cm ²) 400以上 (N/cm ²) 400以上 (N/cm ²)
温度依存性 引張強さ比	JIS A 6008 60℃	加硫ゴム系 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂 エチレン酢ビ樹脂	30以上 (%) 15以上 (%) 40以上 (%) 15以上 (%)
伸び率	-20℃	加硫ゴム系 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂 エチレン酢ビ樹脂	200以上 (%) 100以上 (%) 15以上 (%) 200以上 (%)
加熱伸縮性状 伸縮量	JIS K 6301 80±2℃×168hr 試験長さ: 300mm	共 通	伸び 2以下～ 縮み 4以下 (mm) 縮み 6* ¹ 以下 (mm)
劣化処理後の引張性能 加熱処理	JIS K 6301 80±2℃×168hr	非加硫ゴム 非加硫ゴム以外 共 通	90～200 (%) 80～150 (%) 70以上 (%)
伸び率比 促進暴露処理* ²	JIS A 1415 WS型促進暴露試験装置 ブラックパネル温度: 63 ±3℃ スプレーサイクル: 120min中 18min 試験時間: 250hr	非加硫ゴム 非加硫ゴム以外 共 通	90～200 (%) 80～150 (%) 70以上 (%)
引張強さ比 伸び率比 アルカリ処理 引張強さ比 伸び率比	Ca(OH) ₂ 飽和水溶液, 20 ±2℃×168hr	共 通 加硫ゴム系 非加硫ゴム 塩化ビニル樹脂 エチレン酢ビ樹脂	80～120 (%) 80 以上 (%) 90 以上 (%) 90 以上 (%) 80 以上 (%)

表 (続き)

項 目	試験方法	種 別	規格値 (単位)
伸び時の劣化性状			
加熱処理	JIS K 6301, 100%の伸びを保持 80 ±2 °C×168hr	共 通	ひび割れを認めず
促進暴露処理*2	JIS A 1415 WS型促進暴露試験装置 ブラックパネル温度: 63 ±3 °C スプレーサイクル: 120min中 18min 100%の伸びを保持, 試験時間: 250hr	共 通	ひび割れを認めず
オゾン処理*2	JIS A 6008, 40%の伸びを保持, オゾン濃度: 75 ±7.5 pphm, 40±2°C×168hr	共 通	ひび割れを認めず
接合性状	JIS A 6008 接着剤による接合部, 100mmと その両側10mmの基準線間の 120mm を140mm に伸長, または 熱融着・溶剤溶着による接合 部, 40mm とその両側10mmの基準 線間の60mmを70mmに伸長 標準状態 (20±2°C, 65±20%RH) ×24hr	共 通	基準線からのずれ及び剥 離長さが5mm以下, 有害な ずれなどの異常箇所が無い
無処理		共 通	基準線からのずれ及び剥 離長さが5mm以下, 有害な ずれなどの異常箇所が無い
加熱処理	80±2 °C×168hr	共 通	基準線からのずれ及び剥 離長さが5mm以下, 有害な ずれなどの異常箇所が無い
アルカリ処理	Ca(OH) ₂ 飽和水溶液, 20±2 °C×168hr	共 通	基準線からのずれ及び剥 離長さが5mm以下, 有害な ずれなどの異常箇所が無い

参考: JIS A 6008等

*1 塩化ビニル系ルーフィングで溶剤溶着により接合するもの

*2 露出防水用に適用

3. FRP（主に型枠材への用途を考慮したとき）

項 目	試験方法	種 別	規格値（単位）
* ハンドレイアップ成形法 * 平板成形法			
引張強さの限界値	JIS K 7054	50以上（MPa） 100以上 150以上 200以上 250以上	JIS K 7011 第Ⅰ類 1種適合 2種適合 3種適合 4種適合 5種適合
空隙率の最大値	JIS K 7053	3.0（％） 2.5 2.0 1.5 1.5	JIS K 7011 第Ⅰ類 1種適合 2種適合 3種適合 4種適合 5種適合
* マッチドダイ成形法（シートモールディングコンパウンド）			
引張強さの限界値	JIS K 7054	25以上（MPa） 50以上 100以上 150以上	JIS K 7011 第Ⅱ類 1種適合 2種適合 3種適合 4種適合

参考：JIS K 7011等

FRP製型枠に適用できる成形方法を、板厚方向に積層構造をもつハンドレイアップ成形法・平板成形法など、および板厚方向に積層構造をもたないマッチドダイ成形法などに分類できる。

4. 接着剤（コンクリート補強用繊維接着剤）

項 目	試験方法	種別	規格値（単位）
* ガラスロービング接着用			
比重	JIS K 7112	20℃×7dayにて養生	1.20±0.10 (—)
粘度	JIS K 6833	20℃	5000±2000 (cP)
曲げ強度	JIS K 7203	20℃×7dayにて養生	400 以上 (kgf/cm ²)
圧縮降伏強度	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	500 以上 (kgf/cm ²)
圧縮弾性係数	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	(1.5~4.0)×10 ⁴ (kgf/cm ²)
引張強度	JIS K 7113	20℃×7dayにて養生	200 以上 (kgf/cm ²)
衝撃強度	JIS K 7111	20℃×7dayにて養生	1.5 以上 (kgf・cm/cm ²)
硬度	JIS K 7215	20℃×7dayにて養生	80 以上 (H _B D)
引張剪断強度	JIS K 6850	20℃×7dayにて養生	130 以上 (kgf/cm ²)
* ガラスロービング含浸用			
比重	JIS K 7112	20℃×7dayにて養生	1.12±0.05 (—)
粘度	JIS K 6833	20℃	1700±1000 (cP)
曲げ強度	JIS K 7203	20℃×7dayにて養生	200 以上 (kgf/cm ²)
圧縮降伏強度	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	350 以上 (kgf/cm ²)
圧縮弾性係数	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	(1.0~2.5)×10 ⁴ (kgf/cm ²)
引張強度	JIS K 7113	20℃×7dayにて養生	170 以上 (kgf/cm ²)
衝撃強度	JIS K 7111	20℃×7dayにて養生	2.0 以上 (kgf・cm/cm ²)
硬度	JIS K 7215	20℃×7dayにて養生	70 以上 (H _B D)
引張剪断強度	JIS K 6850	20℃×7dayにて養生	120 以上 (kgf/cm ²)
* 炭素繊維クロスの含浸・接着用			
比重	JIS K 7112	20℃×7dayにて養生	1.20±0.10 (—)
圧縮降伏強度	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	350 以上 (kgf/cm ²)
圧縮弾性係数	JIS K 7208	20℃×7dayにて養生	(1.0~2.5)×10 ⁴ (kgf/cm ²)
曲げ強度	JIS K 7203	20℃×7dayにて養生	200 以上 (kgf/cm ²)
引張強度	JIS K 7113	20℃×7dayにて養生	170 以上 (kgf/cm ²)
衝撃強度	JIS K 7111	20℃×7dayにて養生	1.5 以上 (kgf・cm/cm ²)
引張剪断強度	JIS K 6850	20℃×7dayにて養生	100 以上 (kgf/cm ²)

5. パイプの耐久性に関する品質（下水管などの土木配管材料）

項 目	試験方法	種 別	規格値（単位）
引張強さ	JIS K 7113		270 以上（kgf/cm ² ）
偏平試験		5%偏平荷重	
1種管 呼び径:400mmφ			500 以上（kgf/m）
450mmφ			500 以上（kgf/m）
500mmφ			500 以上（kgf/m）
600mmφ			600 以上（kgf/m）
700mmφ			800 以上（kgf/m）
850mmφ			800 以上（kgf/m）
900mmφ			1000 以上（kgf/m）
1000mmφ			1200 以上（kgf/m）
2種管 呼び径:300mmφ			800 以上（kgf/m）
350mmφ			800 以上（kgf/m）
400mmφ			800 以上（kgf/m）
450mmφ			1300 以上（kgf/m）
500mmφ			1400 以上（kgf/m）
600mmφ			2000 以上（kgf/m）
700mmφ			2200 以上（kgf/m）
850mmφ			2200 以上（kgf/m）
900mmφ			2300 以上（kgf/m）
1000mmφ			2300 以上（kgf/m）
負圧試験			0.8 以上（kgf/cm ² ）
耐薬品性	JIS K 6741	水 60℃×5hr	±0.20（mg/cm ² ）
	JIS K 6761	10wt% NaCl 60℃×5hr	±0.05（mg/cm ² ）
	JIS K 6761	30wt% H ₂ SO ₄ 60℃×5hr	±0.05（mg/cm ² ）
	JIS K 6761	40wt% HNO ₃ 60℃×5hr	±0.10（mg/cm ² ）
	JIS K 6761	40wt% NaOH 60℃×5hr	±0.05（mg/cm ² ）

土木用高分子系新素材の
耐久性試験方法に関する
研究報告書

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3286号

平成6年6月(1994)

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持つ土木用高分子系新素材は、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。ここではこのような観点から、高分子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：高分子、新素材、土木、耐久性、試験方法、プラスチック、ゴム、FRP、接着剤

郵便はがき

いは50
って円
下手切
を手

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
材料施工部化学研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3286号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印