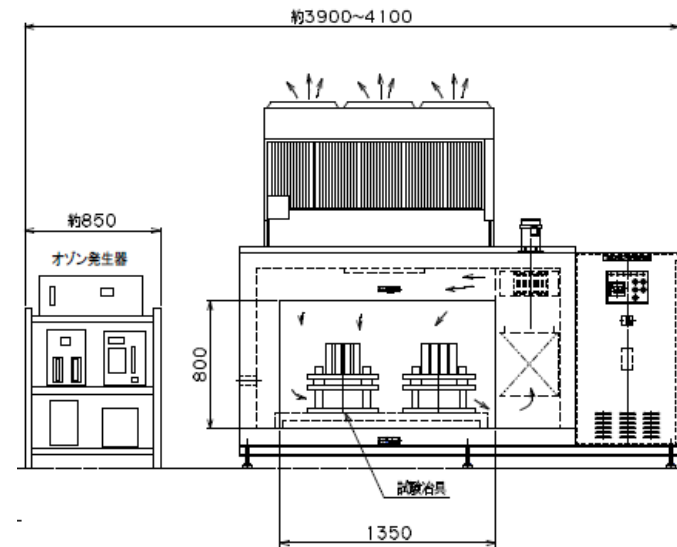


基調講演

橋梁用ゴム支承の性能劣化特性について

8月8日

名古屋栄ビルディング



名古屋大学大学院
教授/情報基盤センター長
伊藤 義人

本日の内容

1. 簡単な自己紹介
2. 免震ゴム支承の性能劣化特性
 - 1) 材料レベル
 - 2) 支承レベル
 - 3) 橋梁レベル
3. 最近の課題

本日の内容

1. 簡単な自己紹介

2. 免震ゴム支承の性能劣化特性

1) 材料レベル

2) 支承レベル

3) 橋梁レベル

3. 最近の課題

伊藤の簡単な履歴

- 1977年(昭和52) 名古屋大学大学院修士修了, 名古屋大学助手
- 1986年(昭和61) 米国リーハイ大学客員研究員(1年間)
- 1988年(昭和63) 名古屋大学助教授
- 1995年(平成7) 名古屋大学教授(現在に至る, 19年間)
- 2000年(平成12) 附属図書館館長(2009.3まで, 9年間)
- 2005年(平成17) 国立情報学研究所客員教授(現在に至る)
- 2009年(平成21) 名古屋大学情報連携統括本部副本部長
情報戦略室長(現在に至る)
- 2012年(平成24) 名古屋大学情報基盤センター長(現在に至る)
- 2014年(平成26) 名古屋大学連合2群議長・評議員(現在に至る)

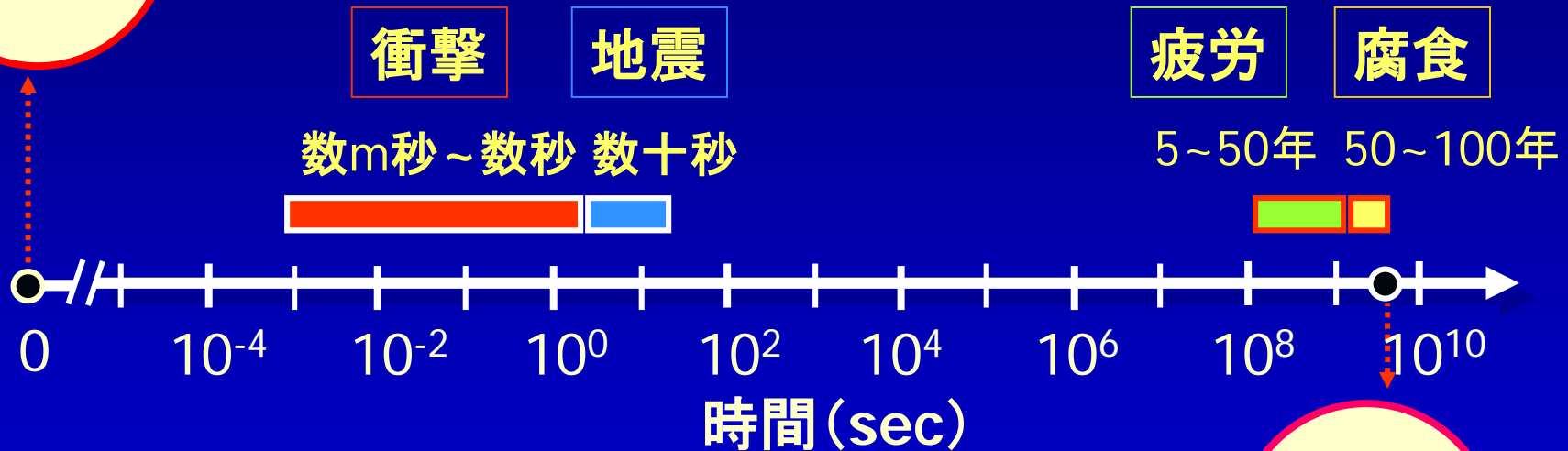
専門: 構造工学(橋梁工学), 環境情報学 → 「構造, 情報, 環境」

【所属学会】 土木学会, 日本建築学会, 日本材料学会, ASCE (米国土木学会), IABSE (国際橋梁構造協会), 日本鋼構造協会, 情報処理学会, 砂防学会, 日本計算工学会, 廃棄物学会, 日本地震工学会, 日本工学教育協会, 日本防錆技術協会, その他

研究：構造物の劣化・破壊とタイムスパン

構造物
の新設

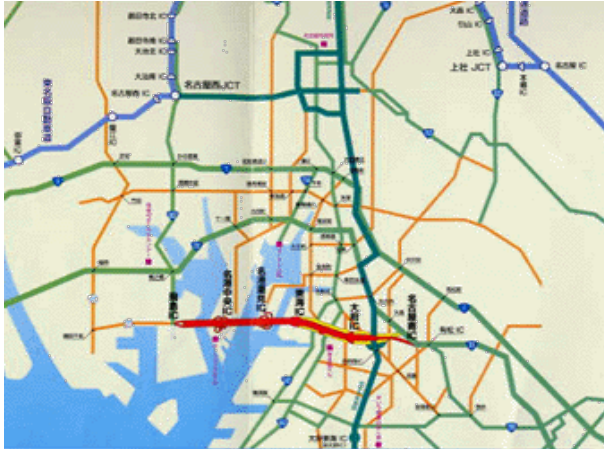
ライフサイクルアナリシスの必要性
ー防災とライフサイクル性能ー
ライフライン構造物の劣化を考慮した防災



設計寿命
(100年)

名港トリトン

助手の時から橋梁委員会委員として
計画，施工，完成まで助言
実験（座屈・耐荷力）と実測も実施



中央大橋



名港東大橋

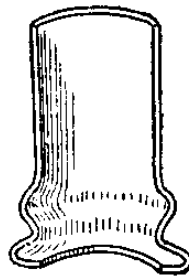
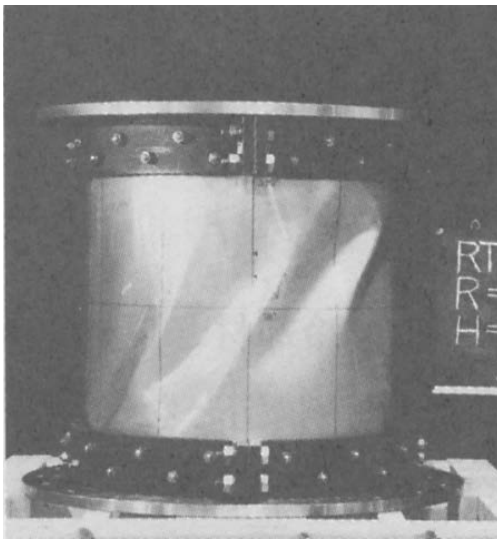


名港西大橋（橋長758m ナゴヤ）

阪神大震災での橋脚の被害



実験室での耐震実験



(a)



(b)



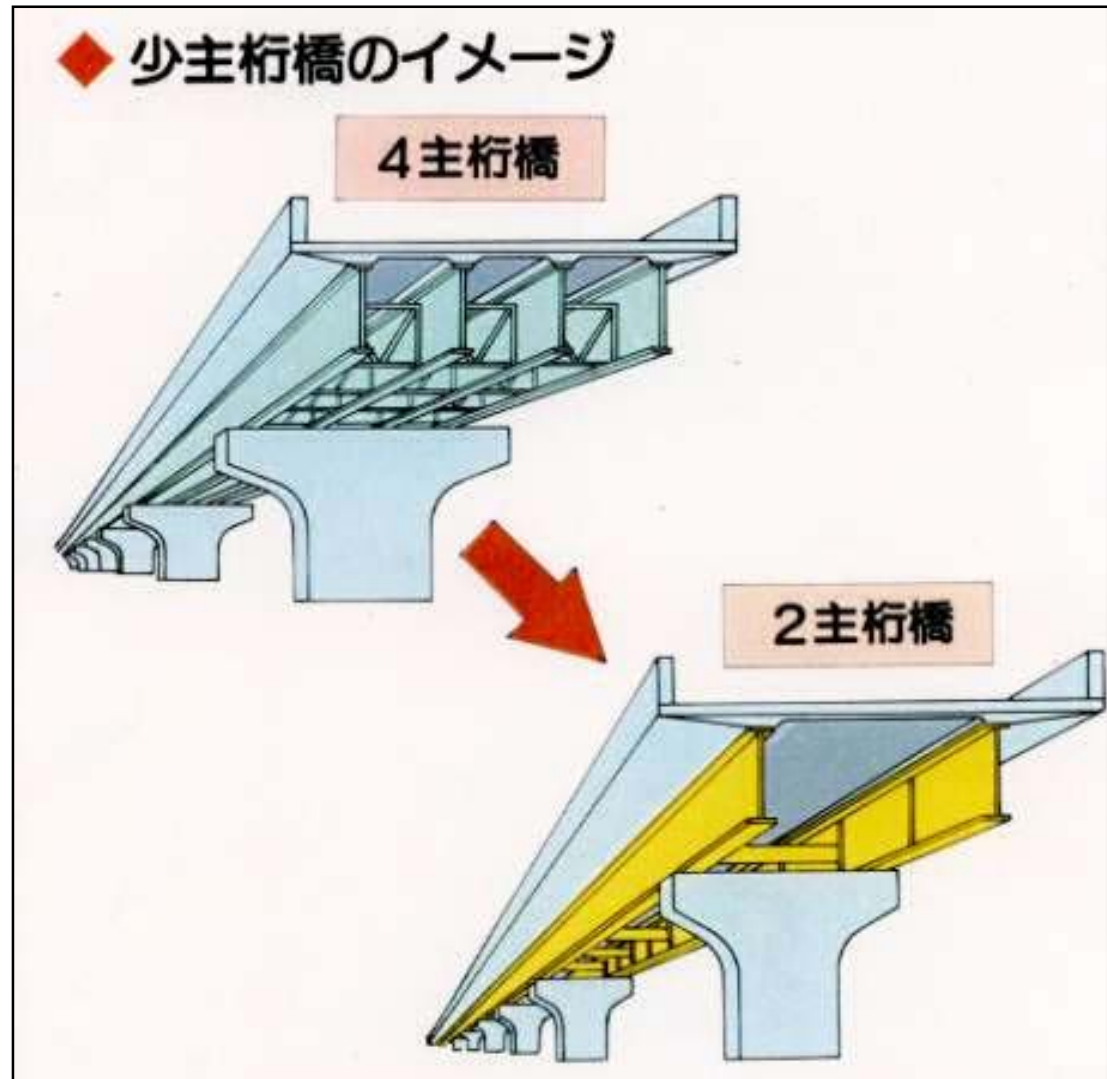
(c)



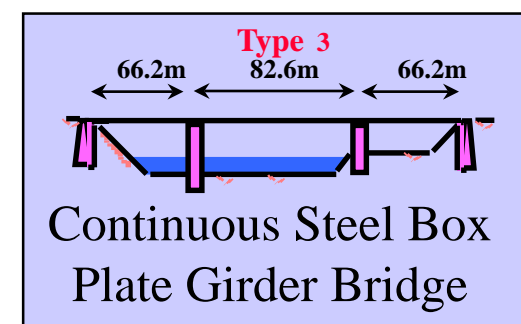
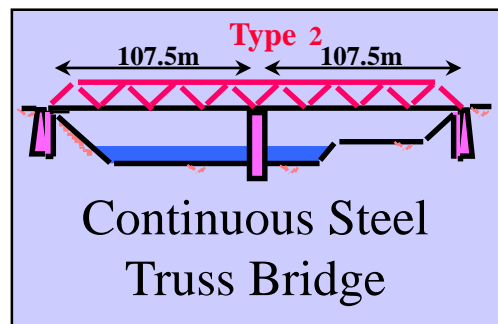
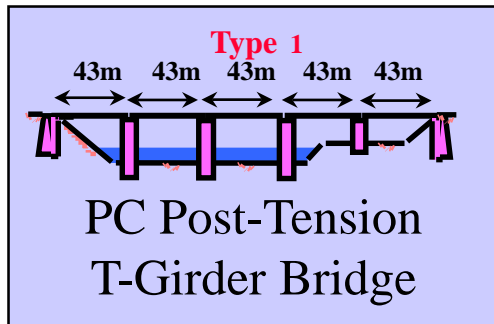
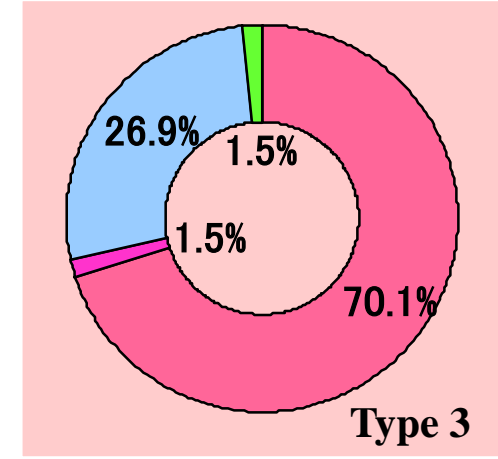
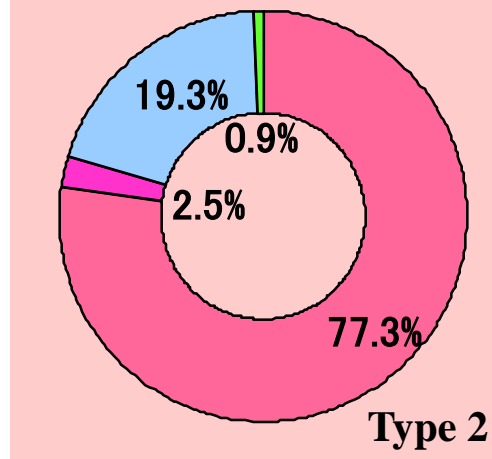
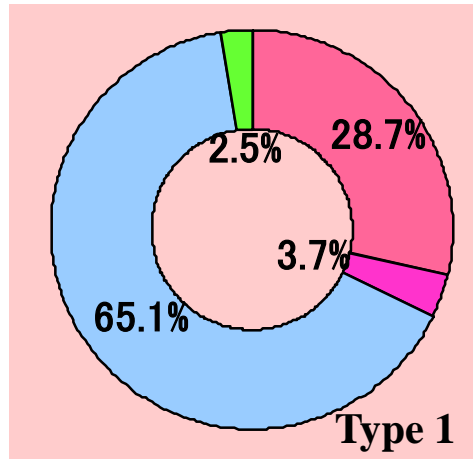


ライフサイクルコスト, 環境負荷低減構造

少数主桁橋の誕生(1996) 鋼重減+工数減=製作費の大幅減
同時に環境負荷最少



橋梁の二酸化炭素発生量の特徴



■ 上部工材料

■ 下部工材料

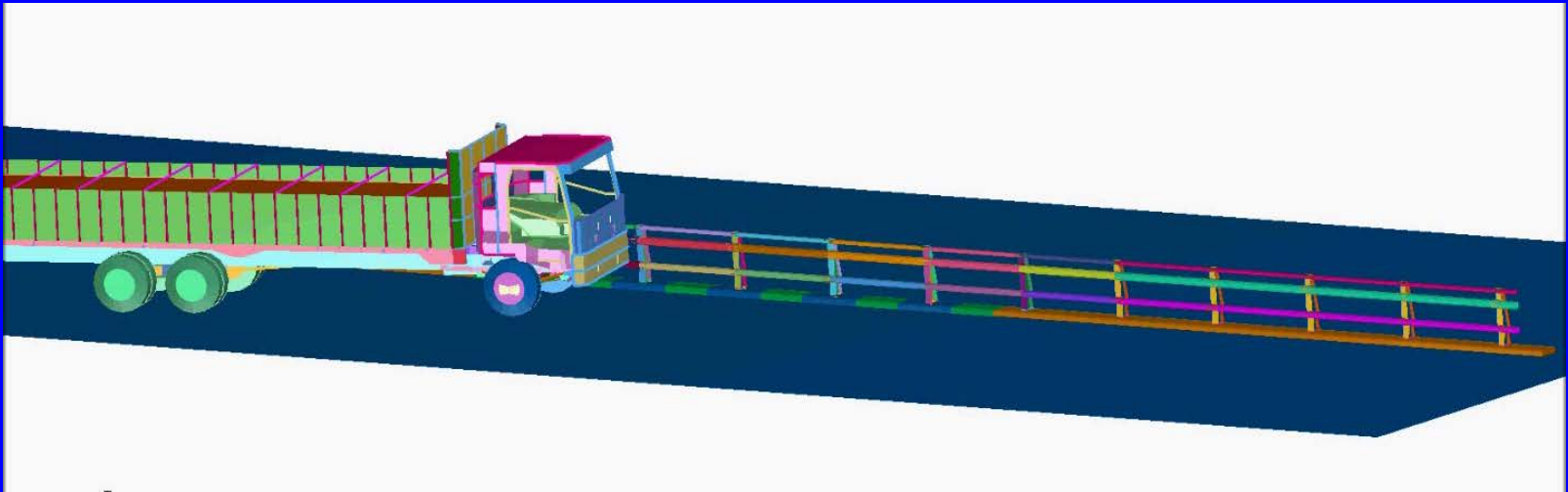
■ 上部工施工

■ 下部工施工

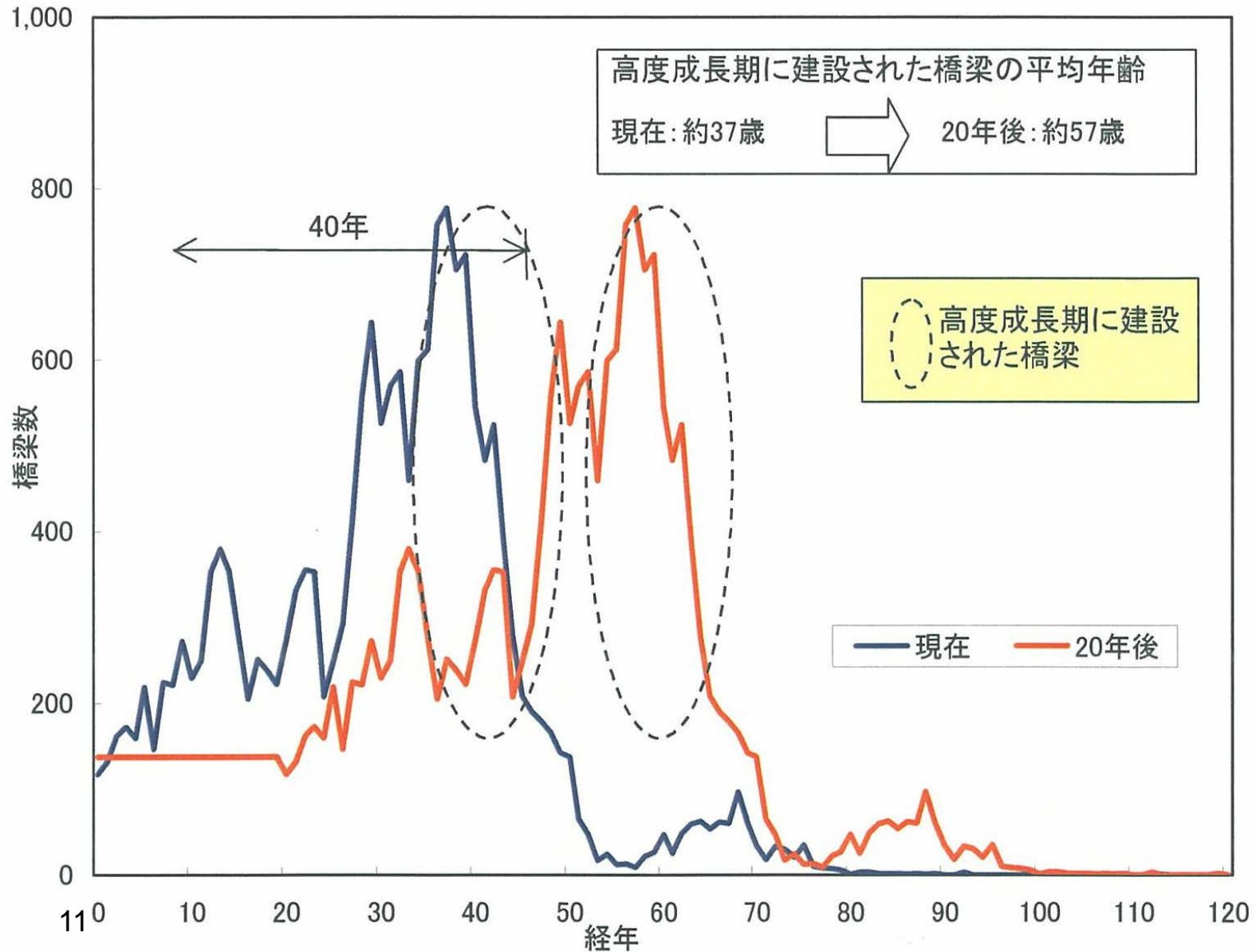
数値解析シミュレーション

実車衝突実験

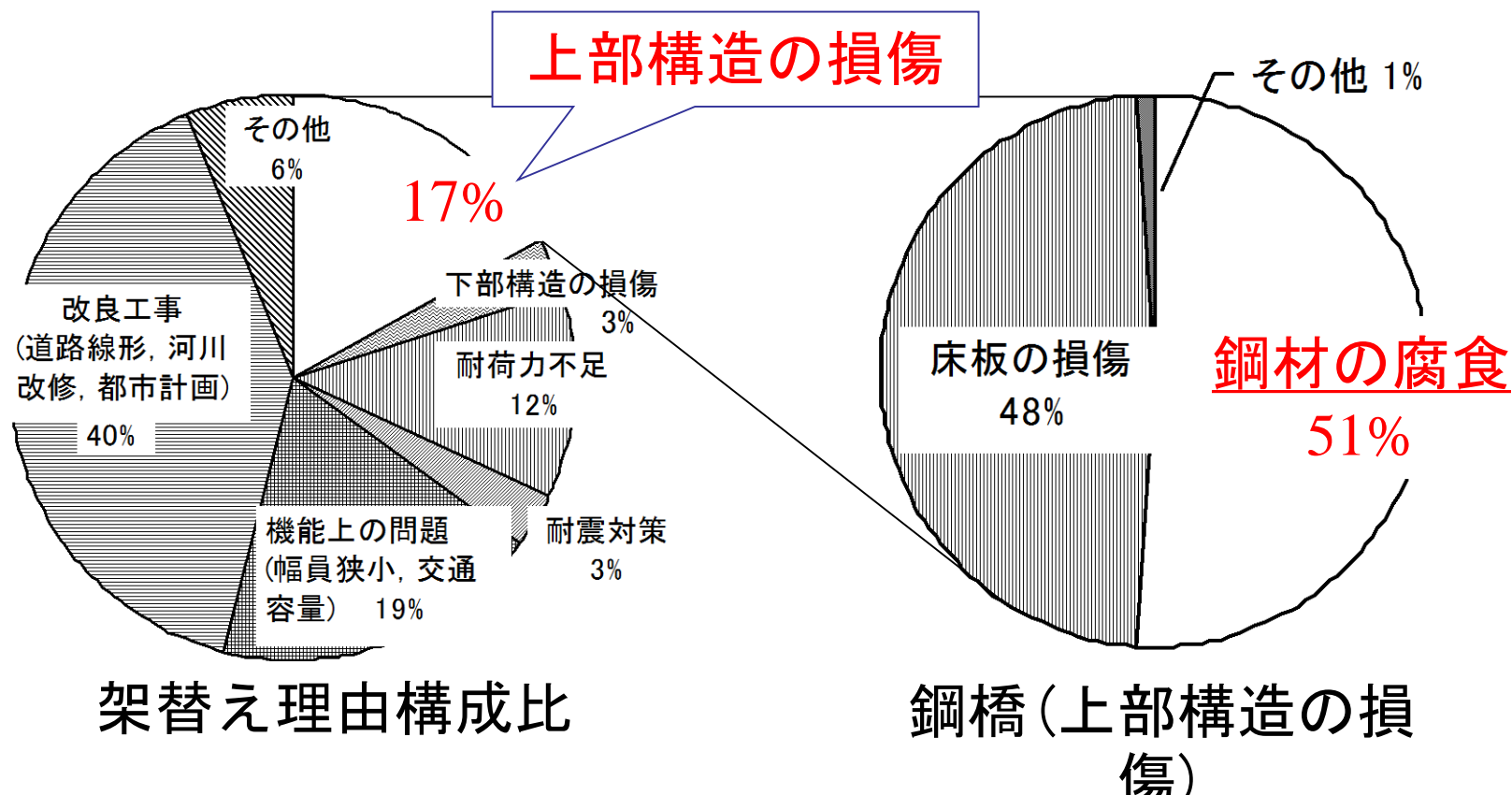
車両衝突解析



道路橋ストックの高齢化



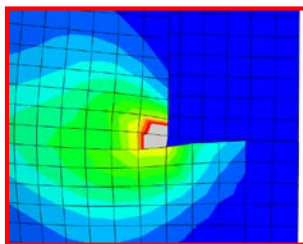
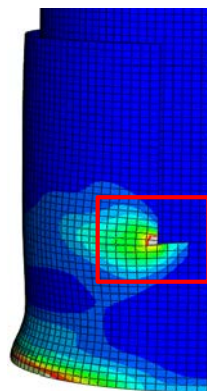
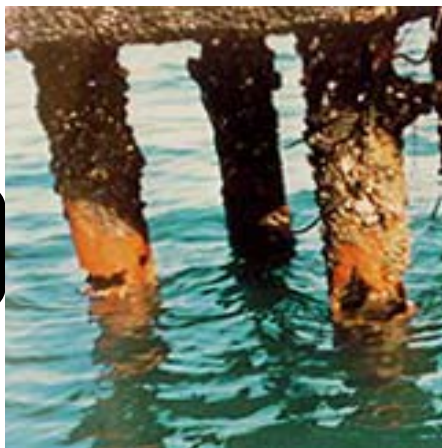
腐食による架替え



鋼橋の上部構造の損傷のうち、
約半分が鋼材の腐食による

港湾鋼構造物の長寿命化対策

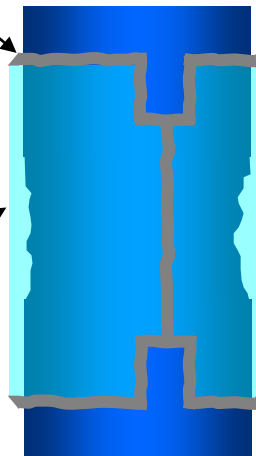
腐食劣化



点検・診断

水中溶接部

添接板



補修設計

補修工事

補修部材

補修部材の
耐荷力性能・
性能回復率



土木構造物に使用されている材料・部材・構造の ライフサイクルでの耐久性を知ること



土木構造物に 対する環境要因

- ・飛来塩分
- ・降雨
- ・乾燥, 湿潤
- ・酸性雨
- ・太陽光線 等



環境を組合わせた複合サイクル 環境促進実験

各パラメータに対
する基礎データを
得る

耐久性長期評価
モデルの構築



本日の内容

1. 簡単な自己紹介

2. 免震ゴム支承の性能劣化特性

1) 材料レベル

2) 支承レベル

3) 橋梁レベル

3. 最近の課題

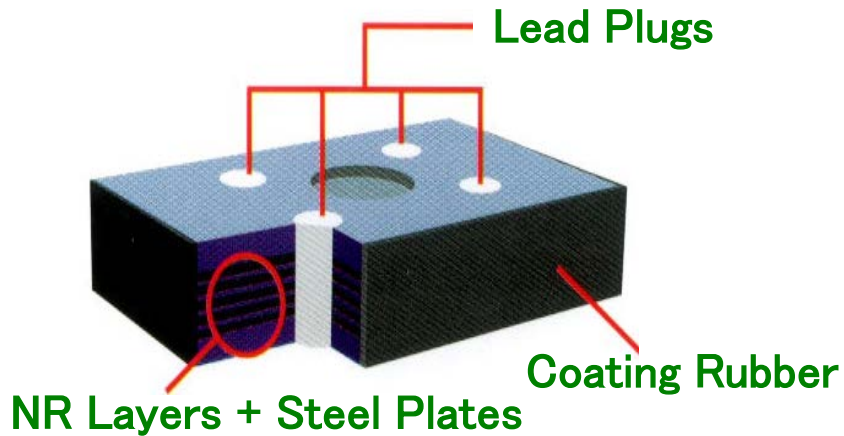


1. 1995年の兵庫県南部地震をきっかけに耐震設計思想が見直され、橋梁では従来主流の鋼製支承に代わり免震用積層ゴム支承が急速に普及した.
2. 橋梁全体に占めるゴム支承価格は5~10%と高く性能照査型設計法を導入するメリットは大きい.
3. 性能照査型設計法に対応するため、ゴム支承の劣化特性を地域性と設置環境を考慮して時系列で予測できる方法が望ましい.
4. ゴム支承の長期の経年劣化について経験的蓄積少ない.

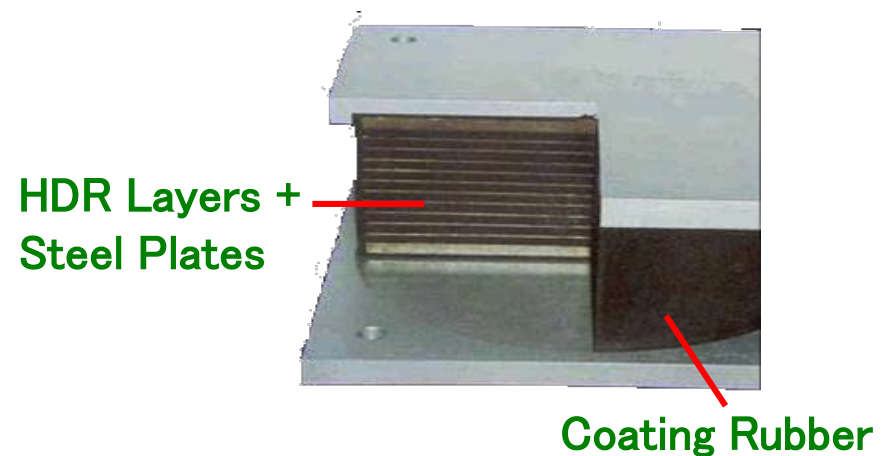


橋梁用ゴム支承

- ゴム支承は、免震支承または反力分散支承として多様されている。



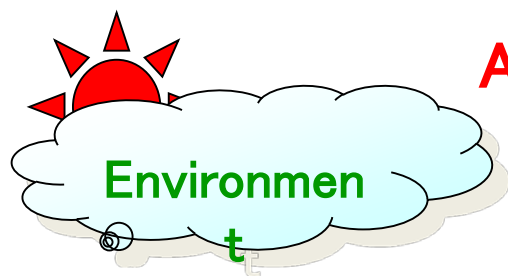
Lead Rubber Bearing
(鉛プラグ入り天然ゴム支承)



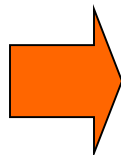
High Damping Rubber Bearing
(高減衰ゴム支承)



免震支承の性能劣化特性

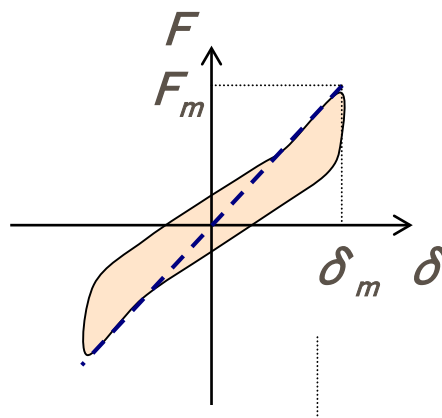


Aging

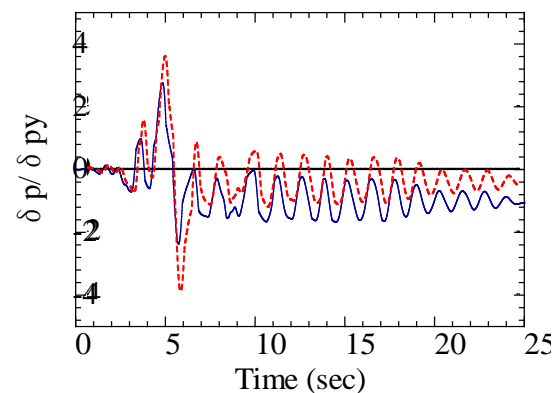
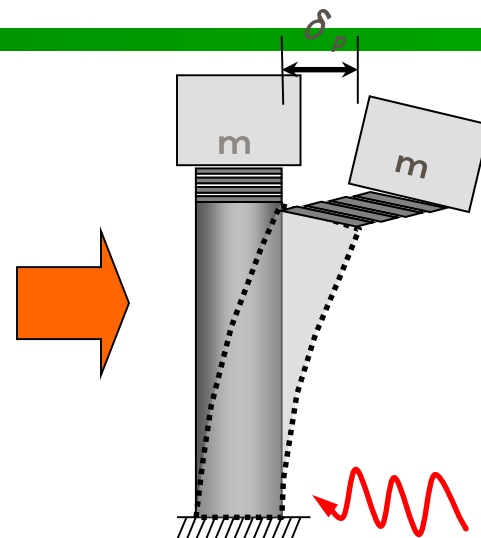


- ◆ Oxygen
- ◆ Ozone
- ◆ Heat
- ◆ Light
- ◆ Liquids
- ◆ ...

材料レベル



支承レベル



橋梁レベル

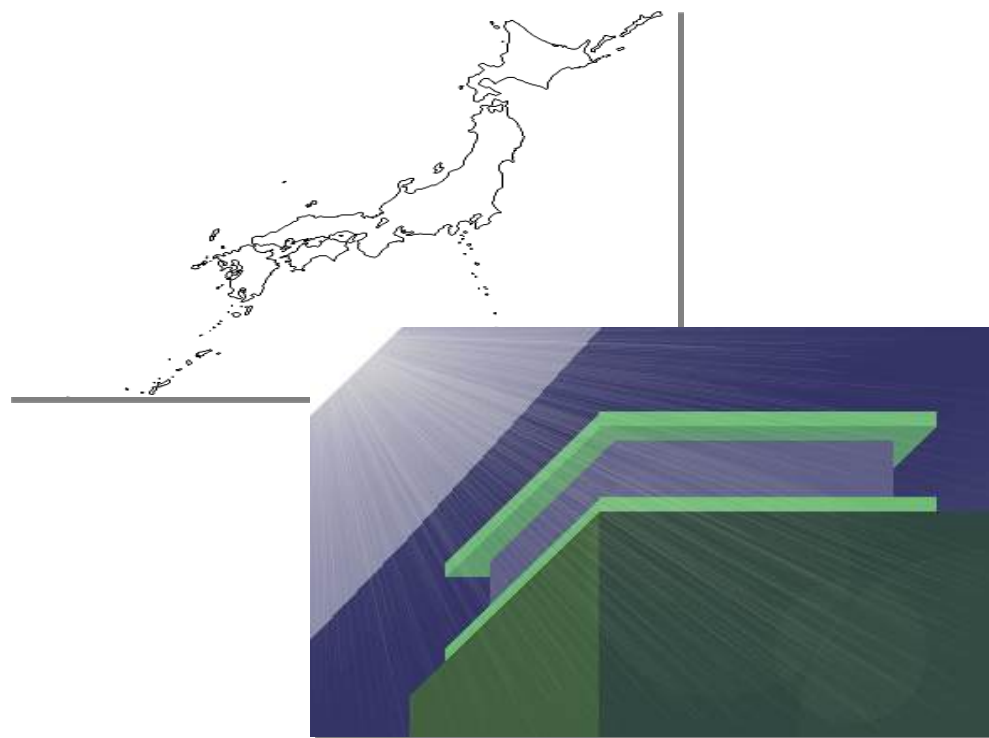
ゴムを劣化させる要因

1. 熱や光による酸化反応の促進
2. 引張状態でのオゾンクラック発生

支承用ゴムを劣化させ得る環境条件

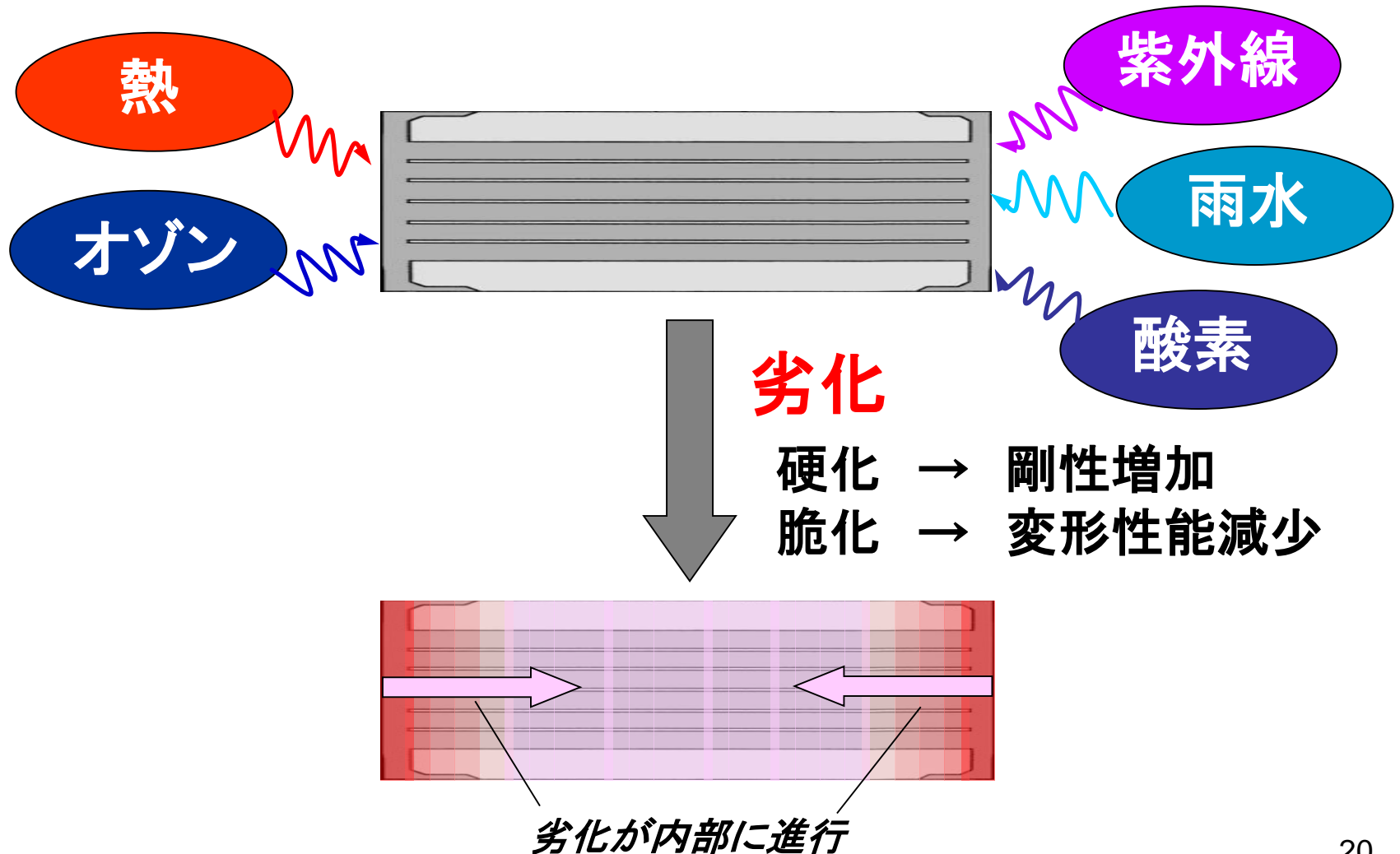
劣化因子

1. 熱
2. 太陽光の照射
3. オゾン
4. 低温度下 オゾン
5. 酸性雨
6. 湿潤-乾燥サイクル
7. 飛来塩分



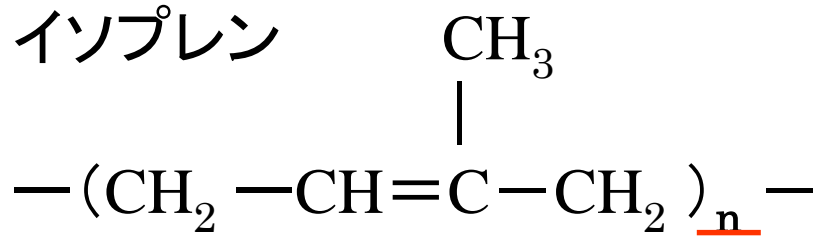
地域，設置環境により異なる

橋梁用ゴム支承の劣化

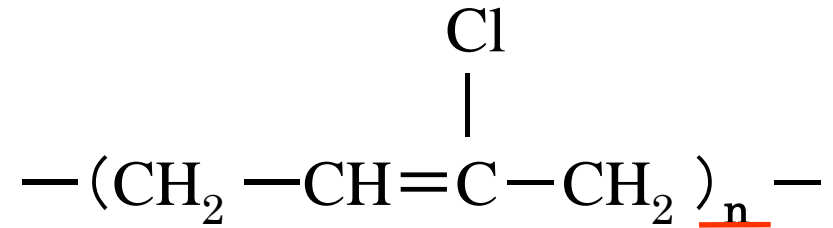


ゴムの酸化劣化の仕組み

天然ゴム (NR) の分子単位

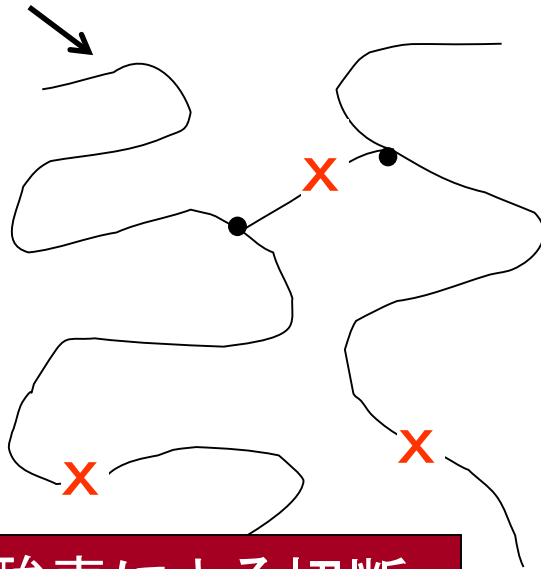


クロロプレンゴム (CR) の分子単位



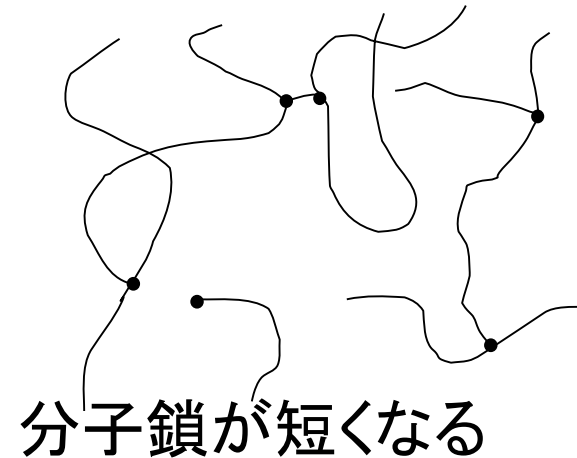
n =数千以上の長い分子鎖 → 粘性, 可塑性

ゴムの分子鎖



酸素による切断

再結合

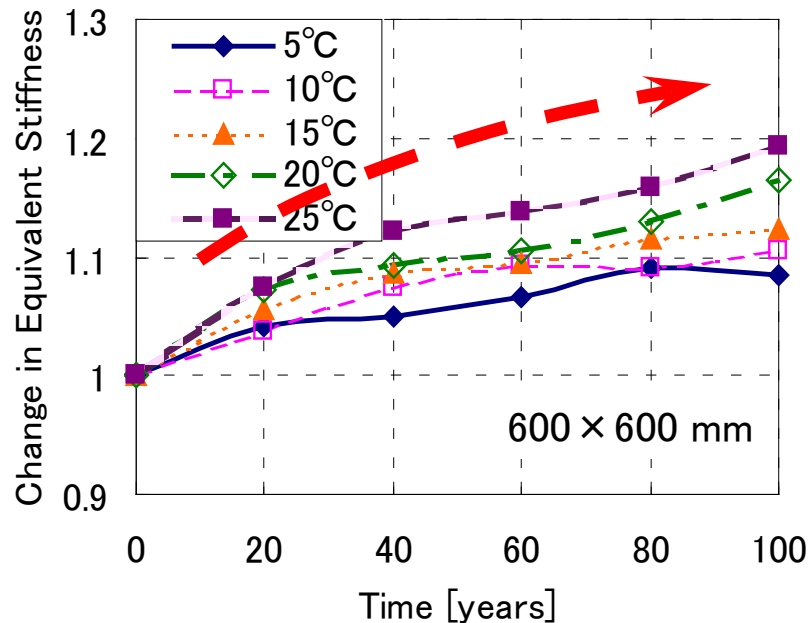


分子鎖が短くなる

粘性, 可塑性の低下
伸びの低下, 硬化

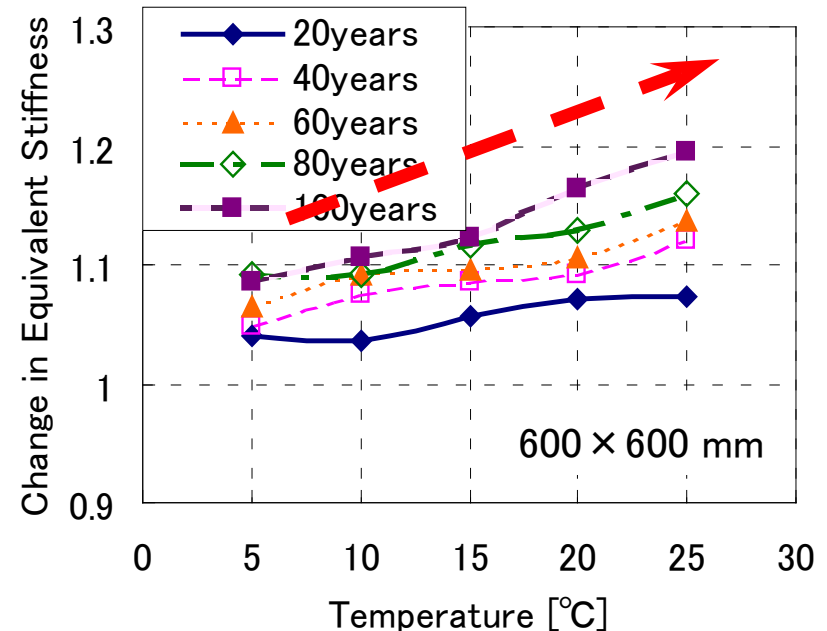
等価水平剛性変化(NR支承解析結果)

時間依存性



時間と共に増大

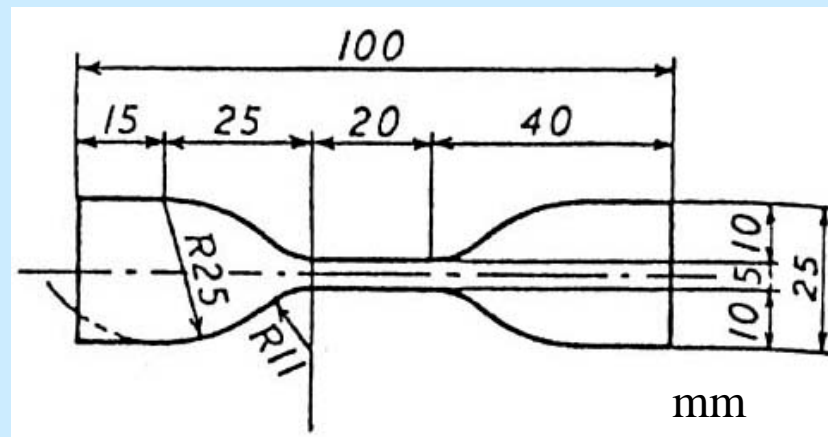
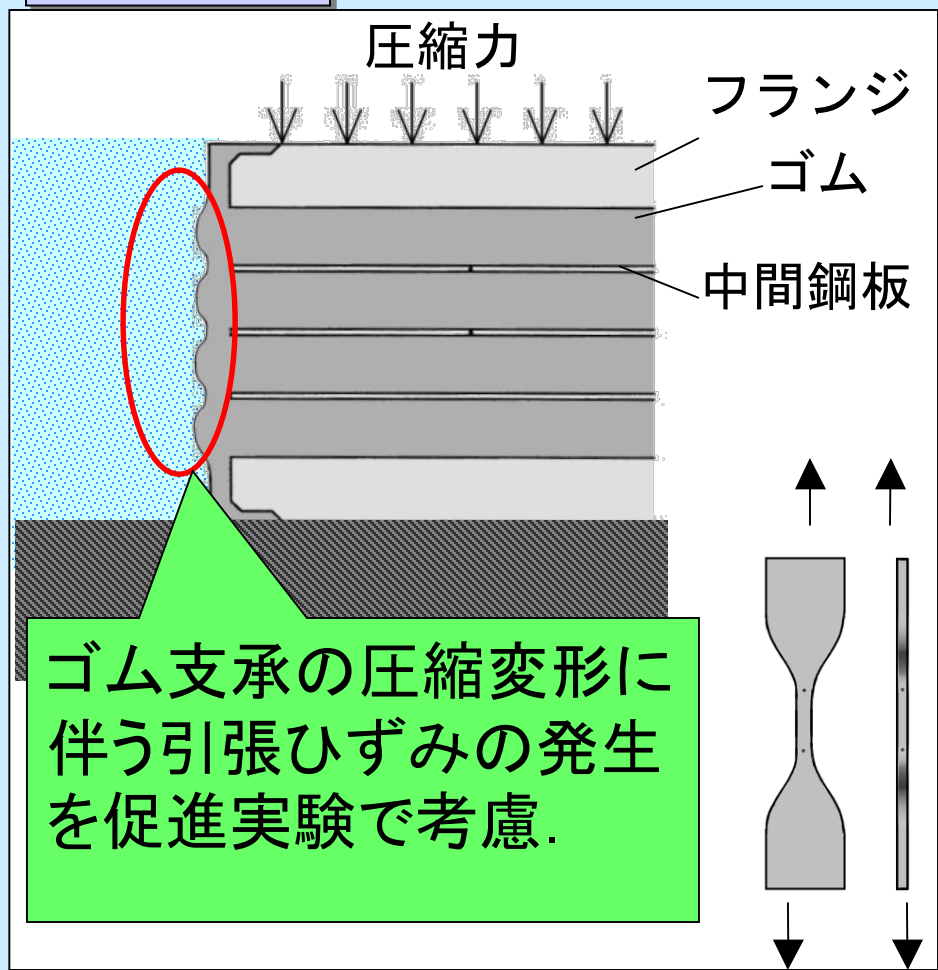
温度依存性



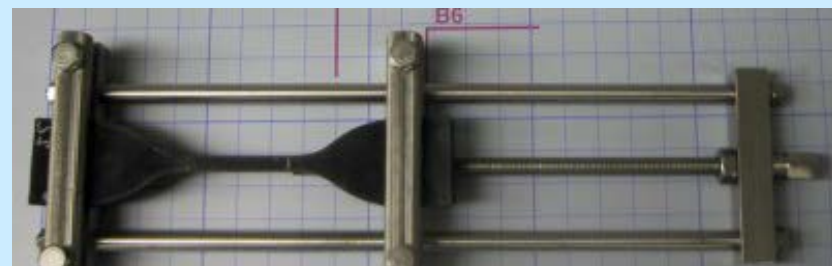
温度と共に増大

試験片

最も劣化しやすいゴム支承表面の劣化を想定



JIS 3号 ダンベル形試験片 (2mm厚)



伸張治具

伸張治具を用いて試験片に与える”予ひずみ” ε_p を
0,20,40%の3段階に設定.

試験片数: 2200体 \div 12体 \times 2材料 \times 予ひずみ3段階 \times Σ (環境別条件)

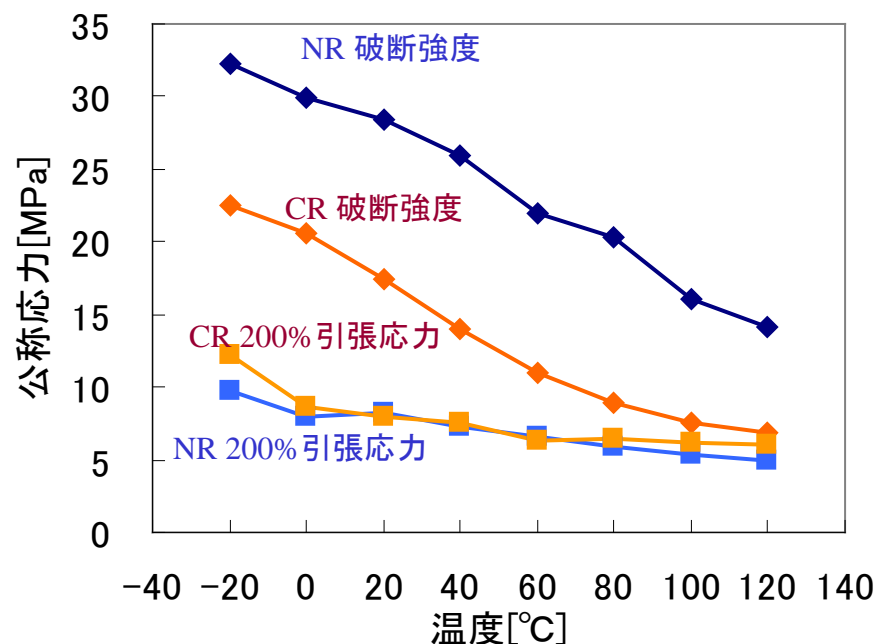
対象とする材料

NR(天然ゴム, 3社(A,B,C), CR(合成ゴム, クロロプレンゴム)

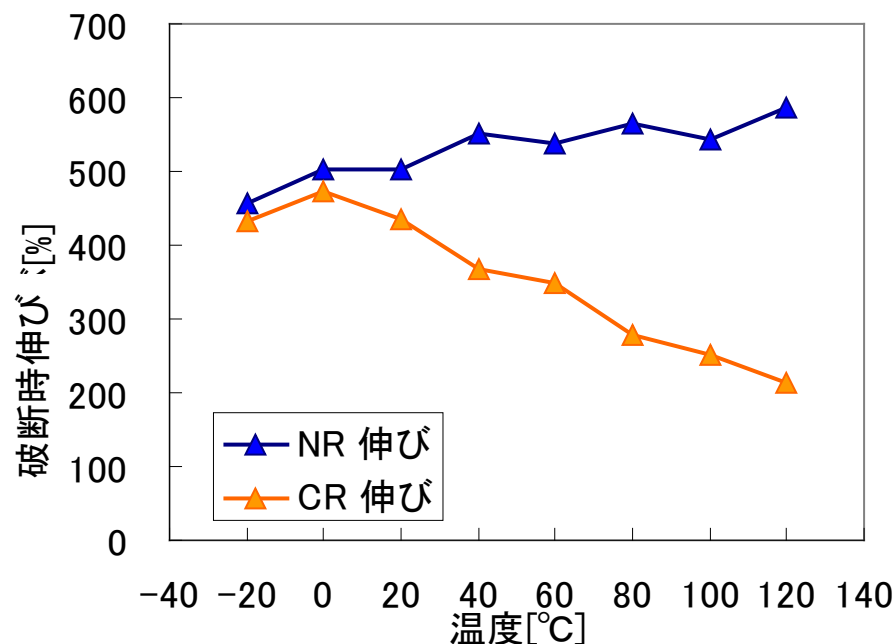
HDR(高減衰ゴム), EPM/EPDM(エチレンプロピレン)

実験で扱ったゴム試験片の基礎的な特性

引張測定時の温度依存性

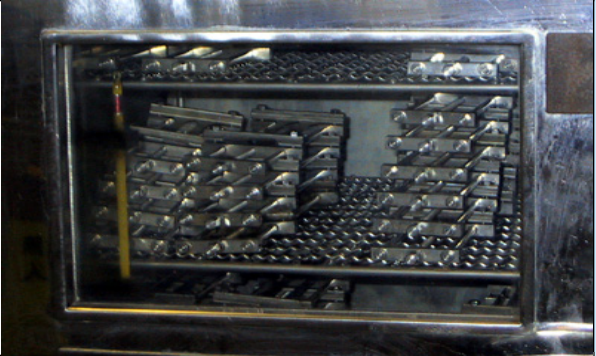




-20~120°Cで引張試験を実施



環境促進実験後の引張測定は25°Cで実施.

環境促進実験の条件

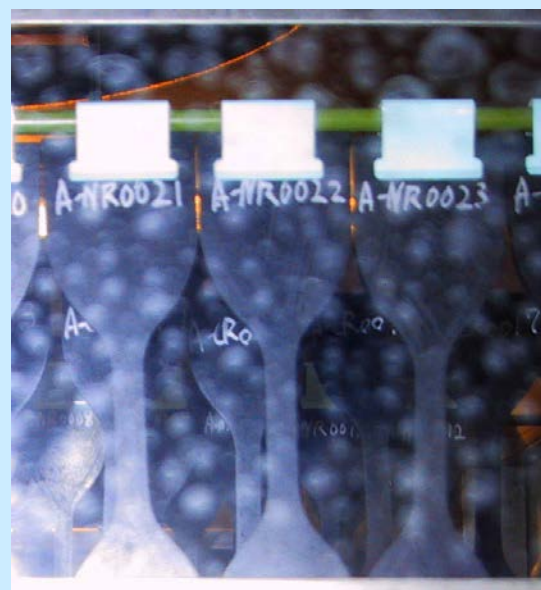
実験	条件	実験中の写真
オゾン劣化実験 低温オゾン	オゾン濃度0.5ppm 温度 40℃ 低温 -30℃	
加熱促進劣化実験	槽内温度 70℃	
光劣化実験	人工太陽光照射+水 噴霧の繰り返し	

環境促進実験の条件

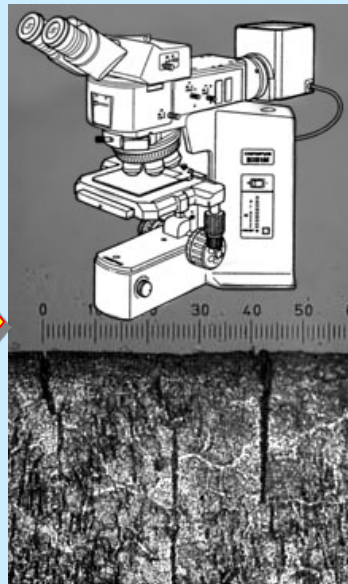
実験	条件	実験中の写真
塩水複合サイクル	塩水噴霧・乾燥 サイクル(S6)繰返し	
酸性雨複合サイクル	酸性雨・乾燥 サイクル繰返し	

6種の劣化要因について環境促進実験を実施

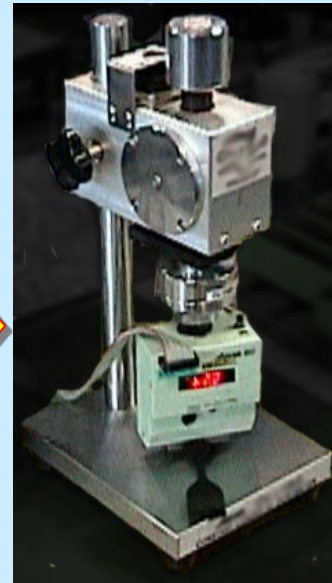
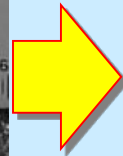
実験の流れ



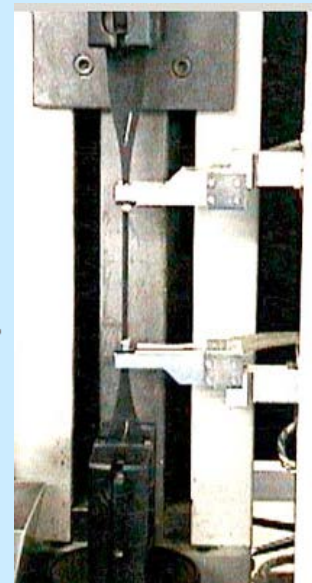
環境促進実験



外観変化の観察



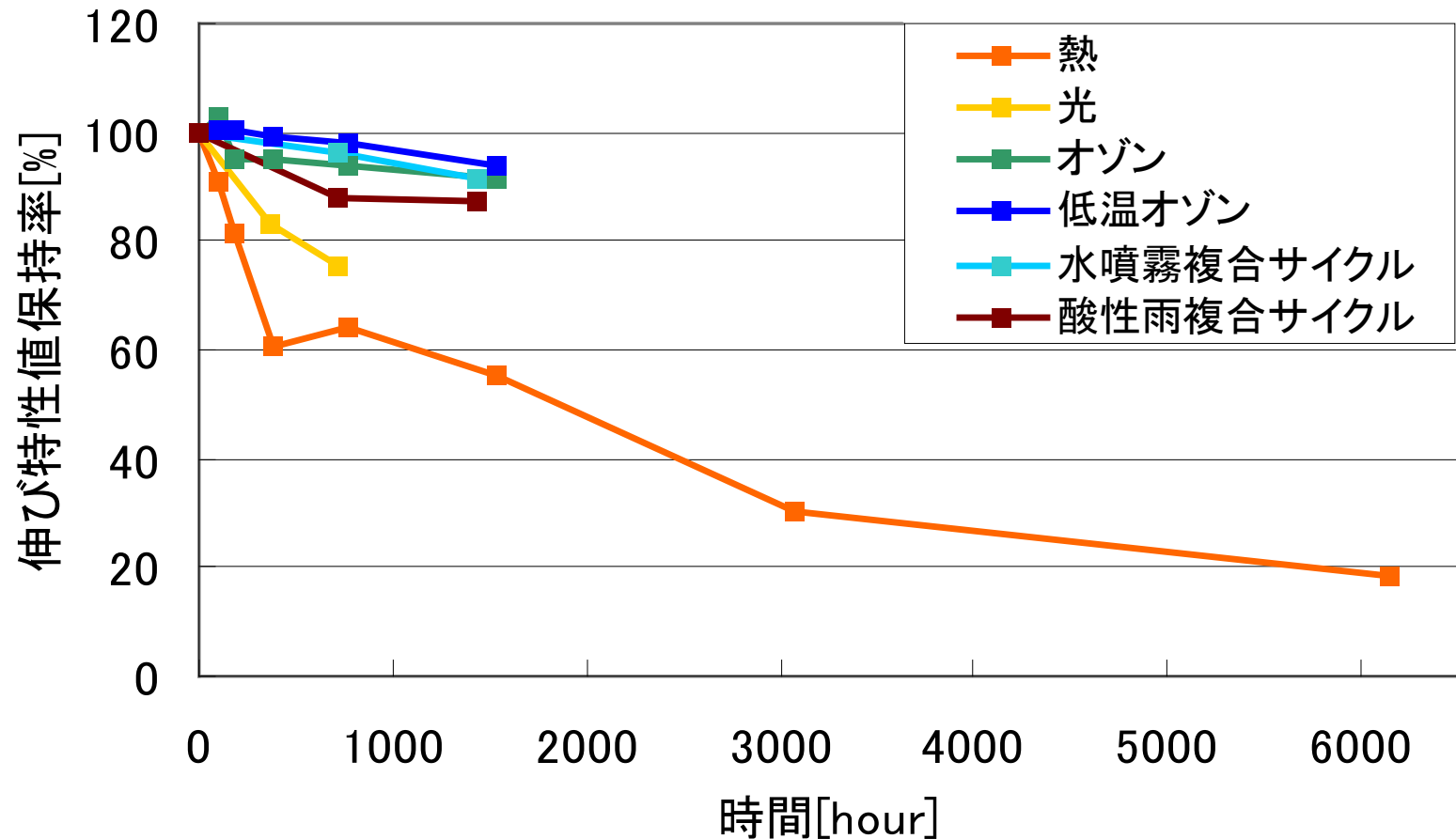
硬さ測定



引張測定

NRの伸び特性の時系列変化

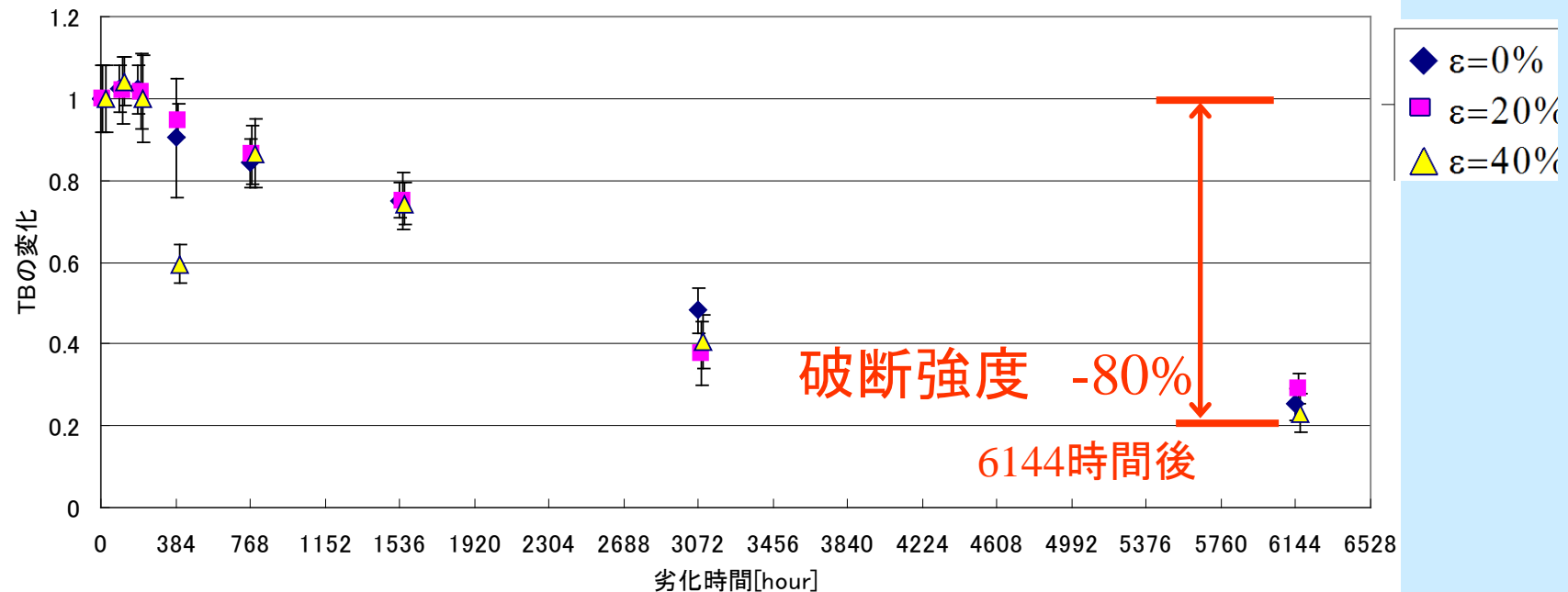
伸び特性: 引張試験で破断するときの
ひずみ



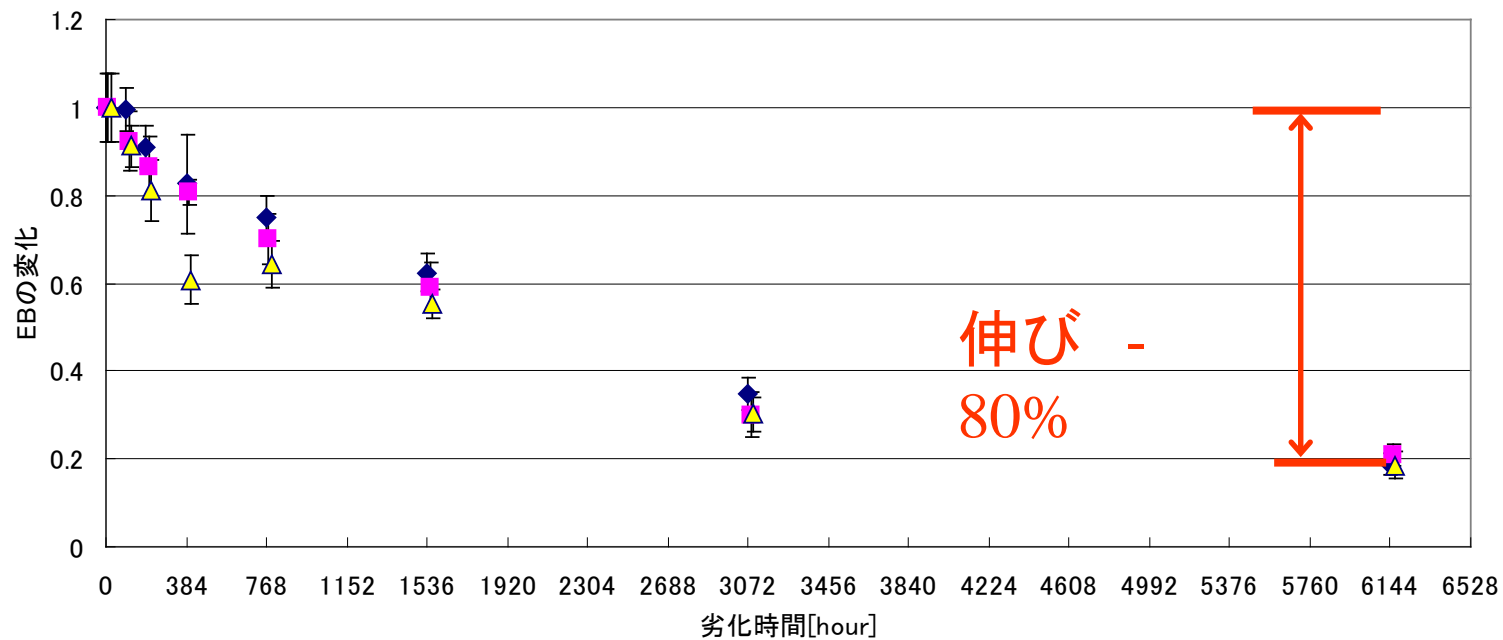
n=12体の平均値で表示

測定値のばらつきは $\pm 2\sigma$

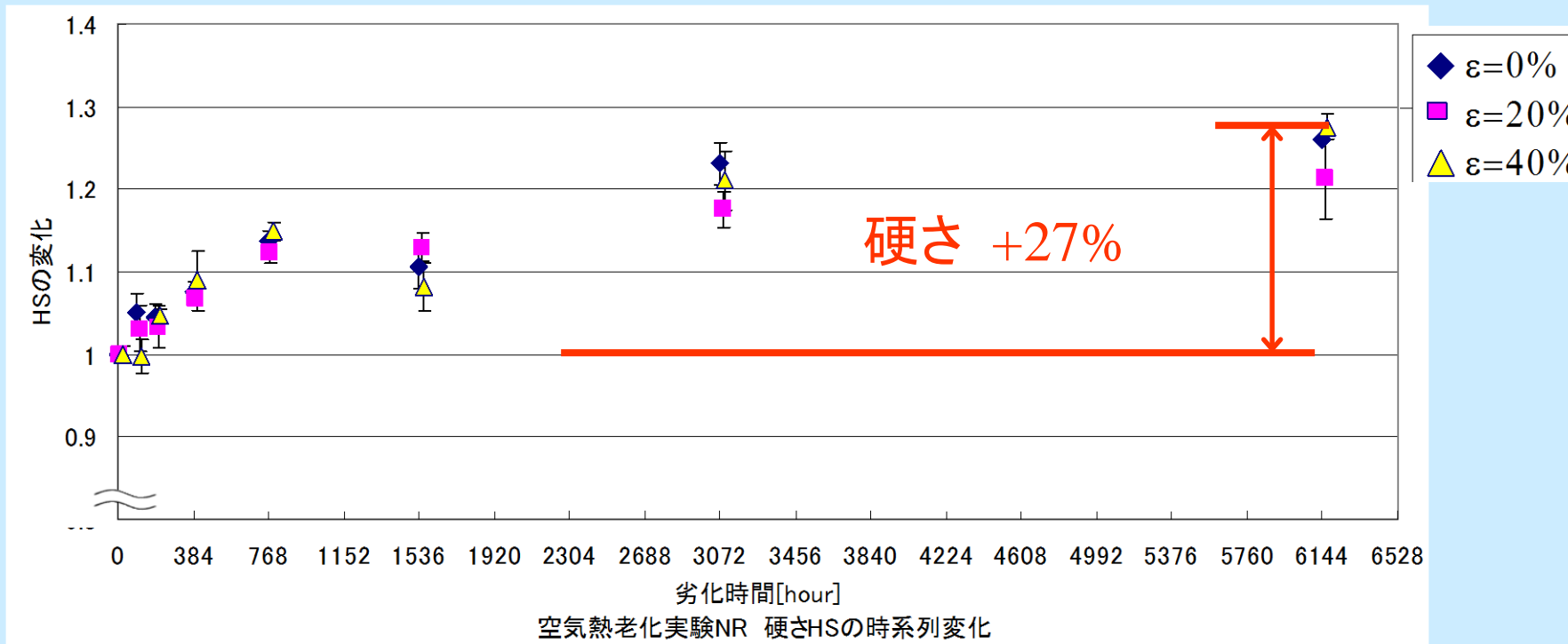
NRの熱劣化



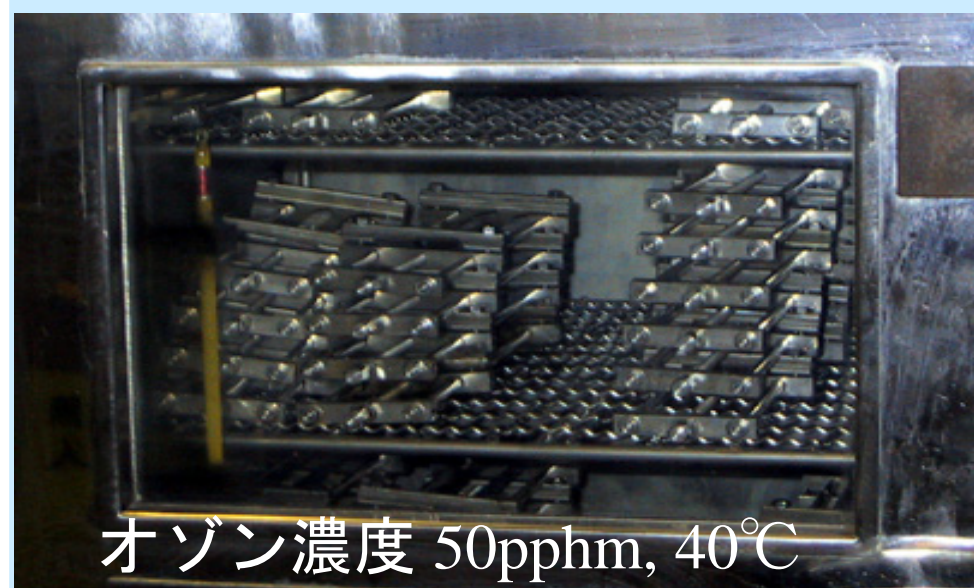
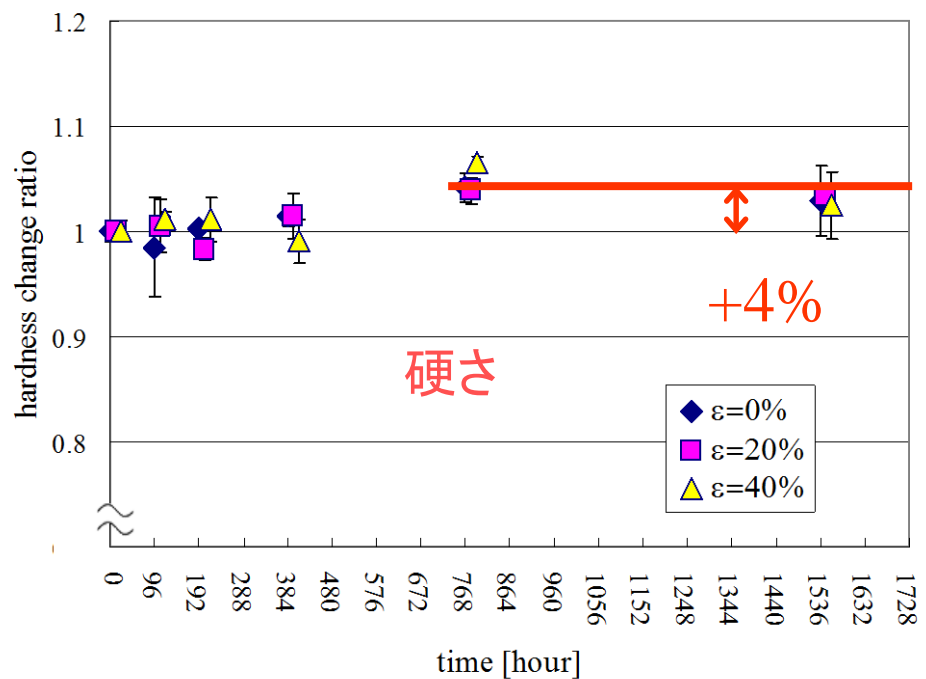
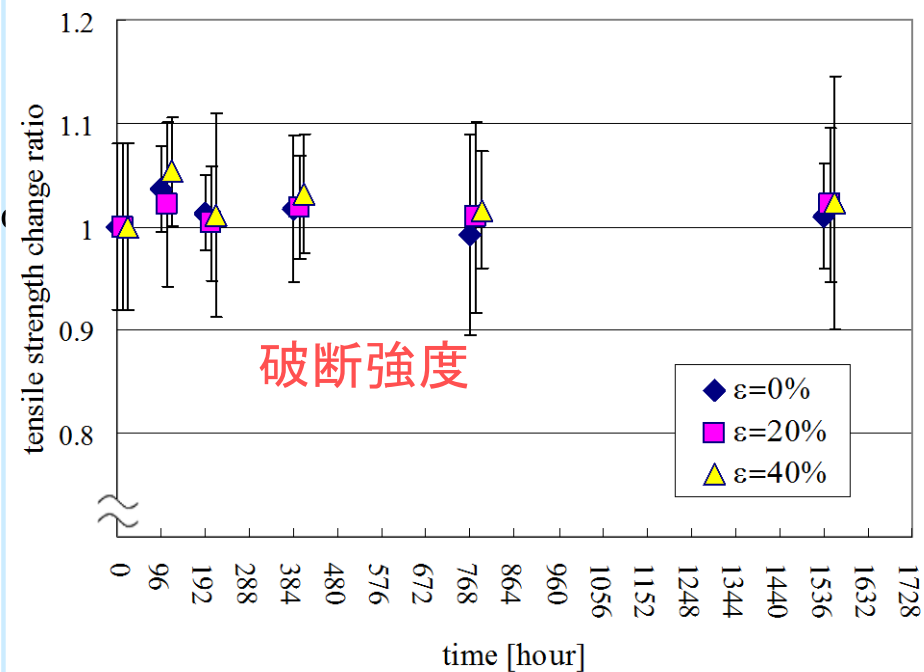
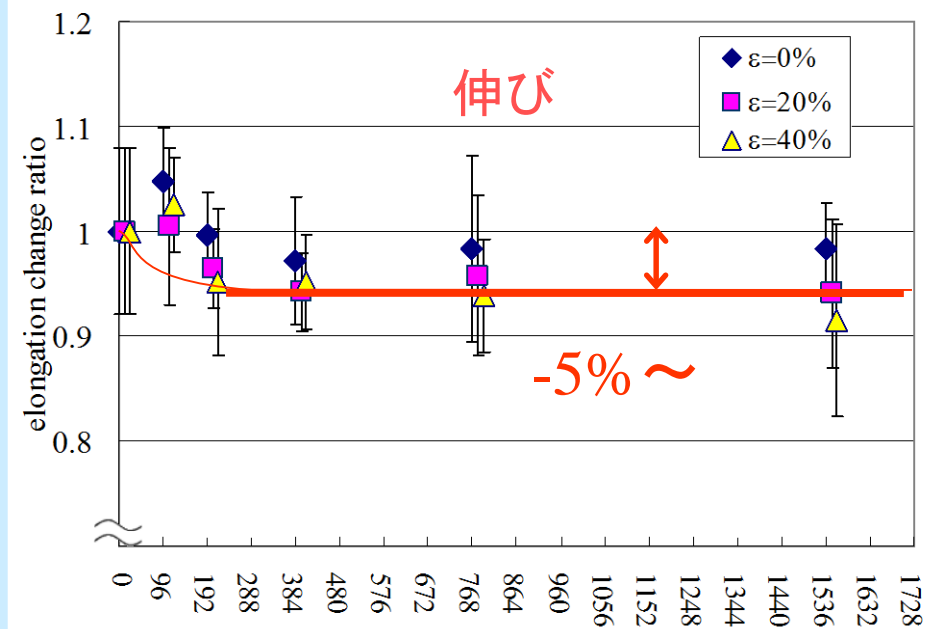
空気熱老化実験NR 破断強度TBの時系列変化



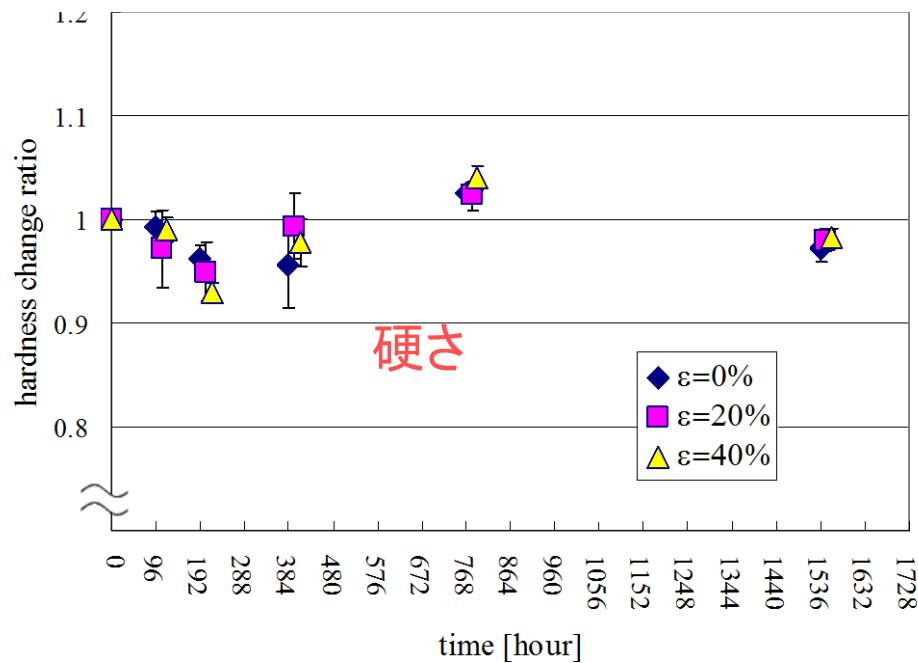
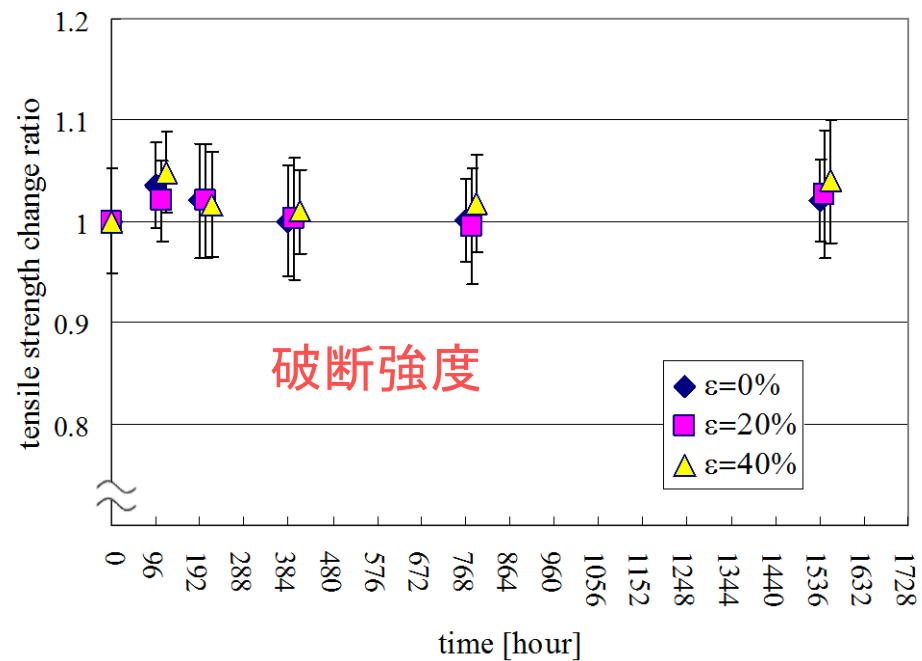
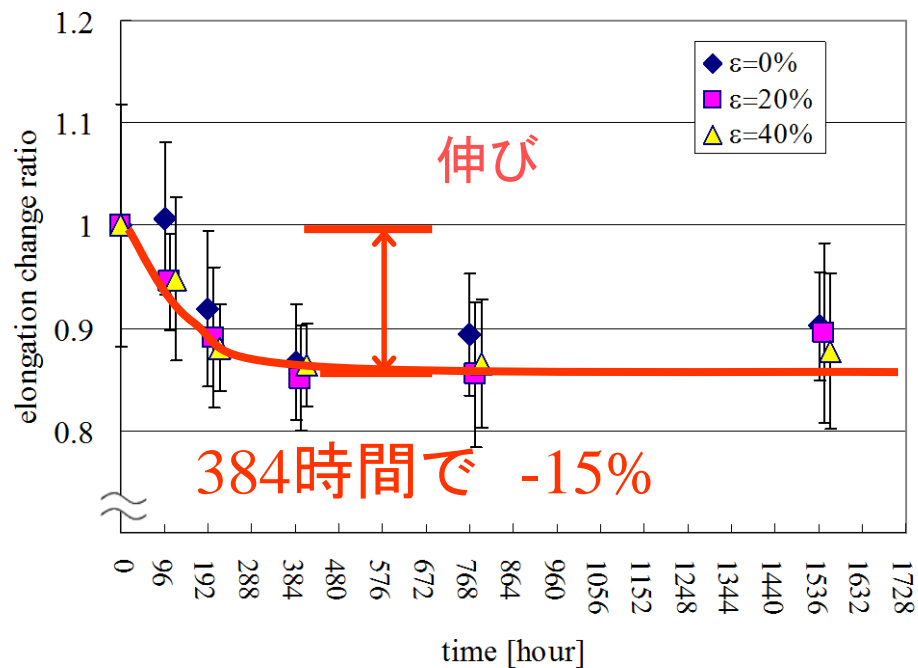
空気熱老化実験NR 破断時伸びEBの時系列変化



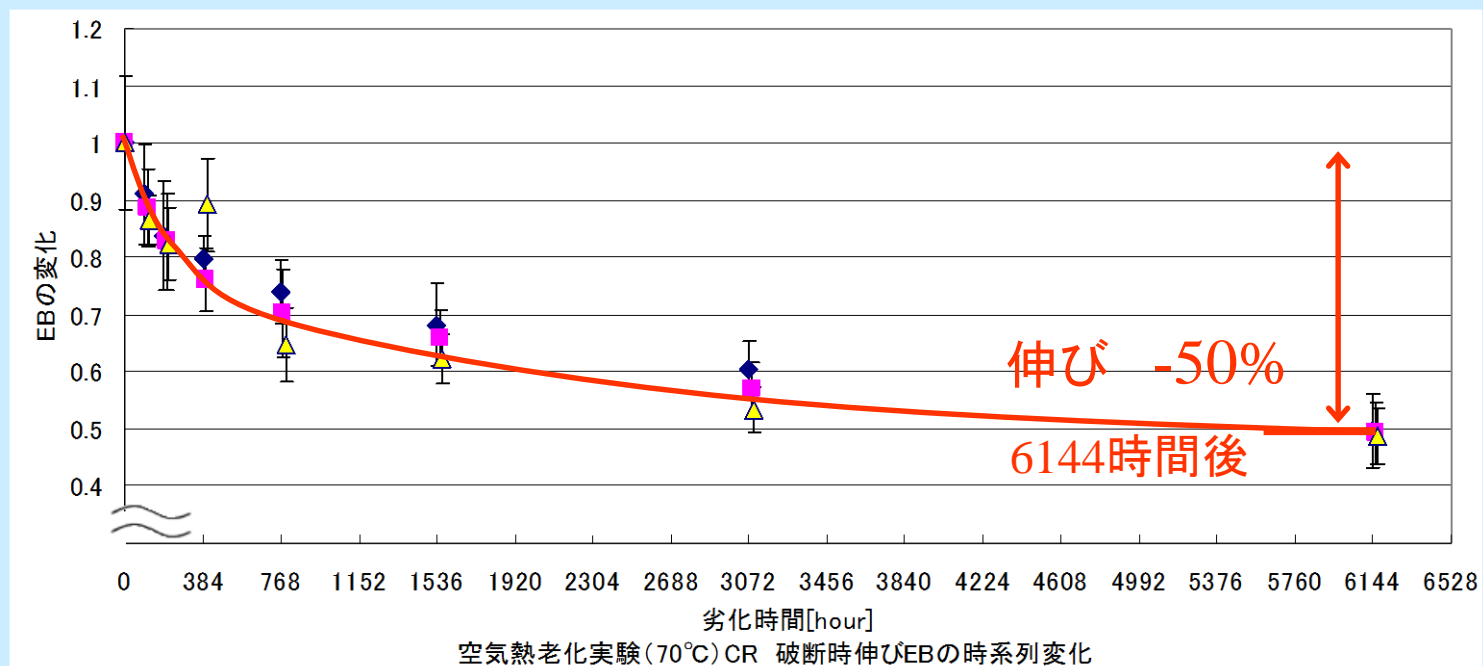
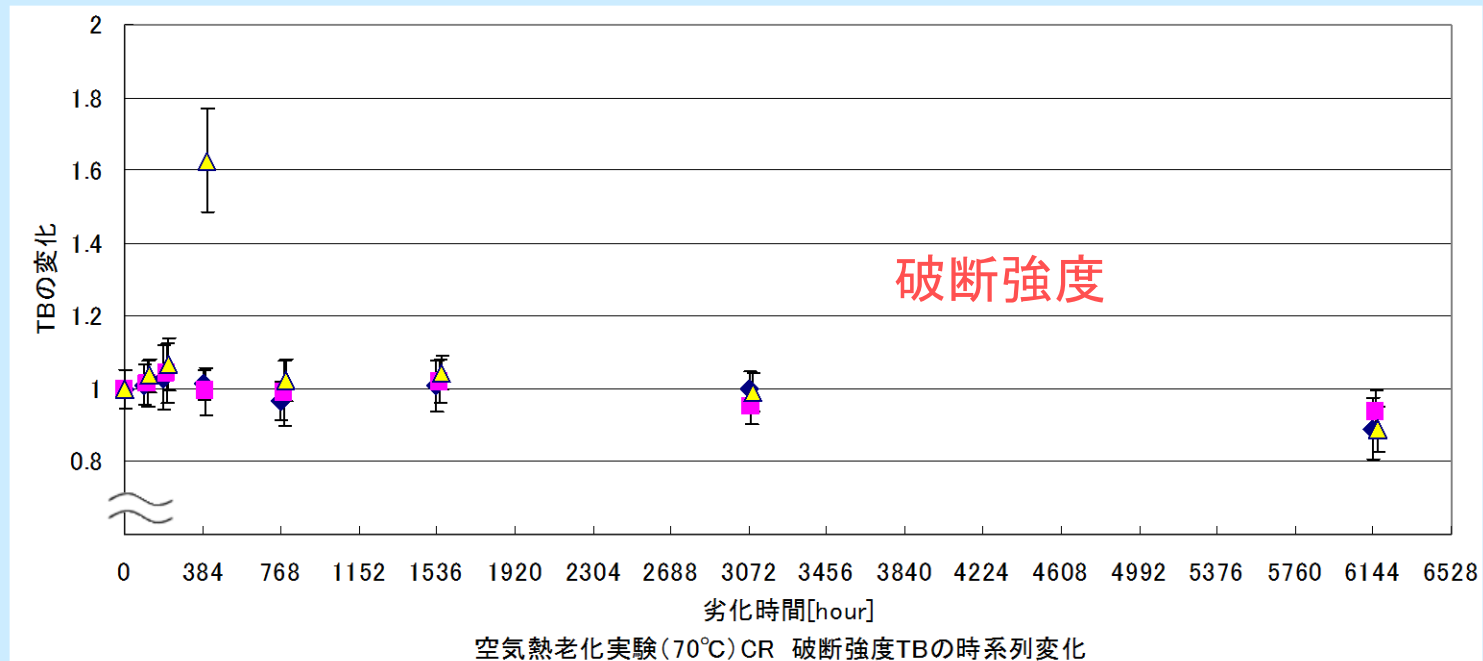
NRのオゾン劣化

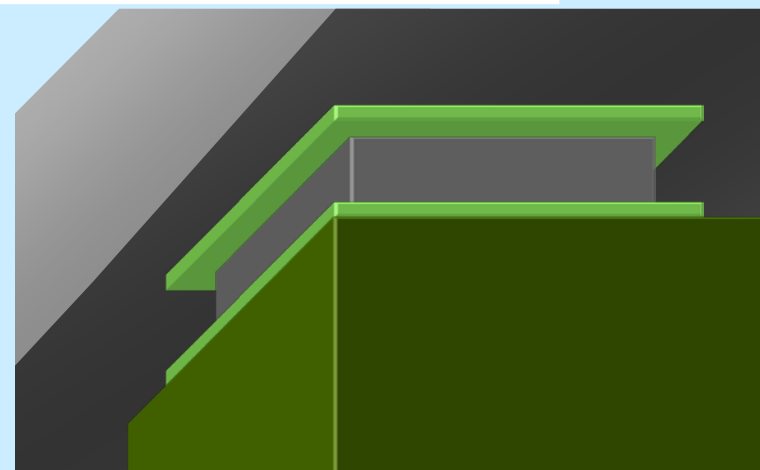
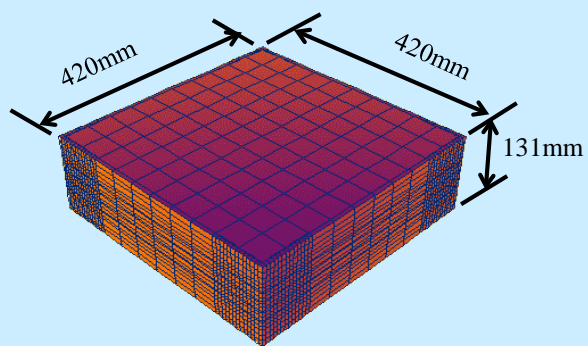
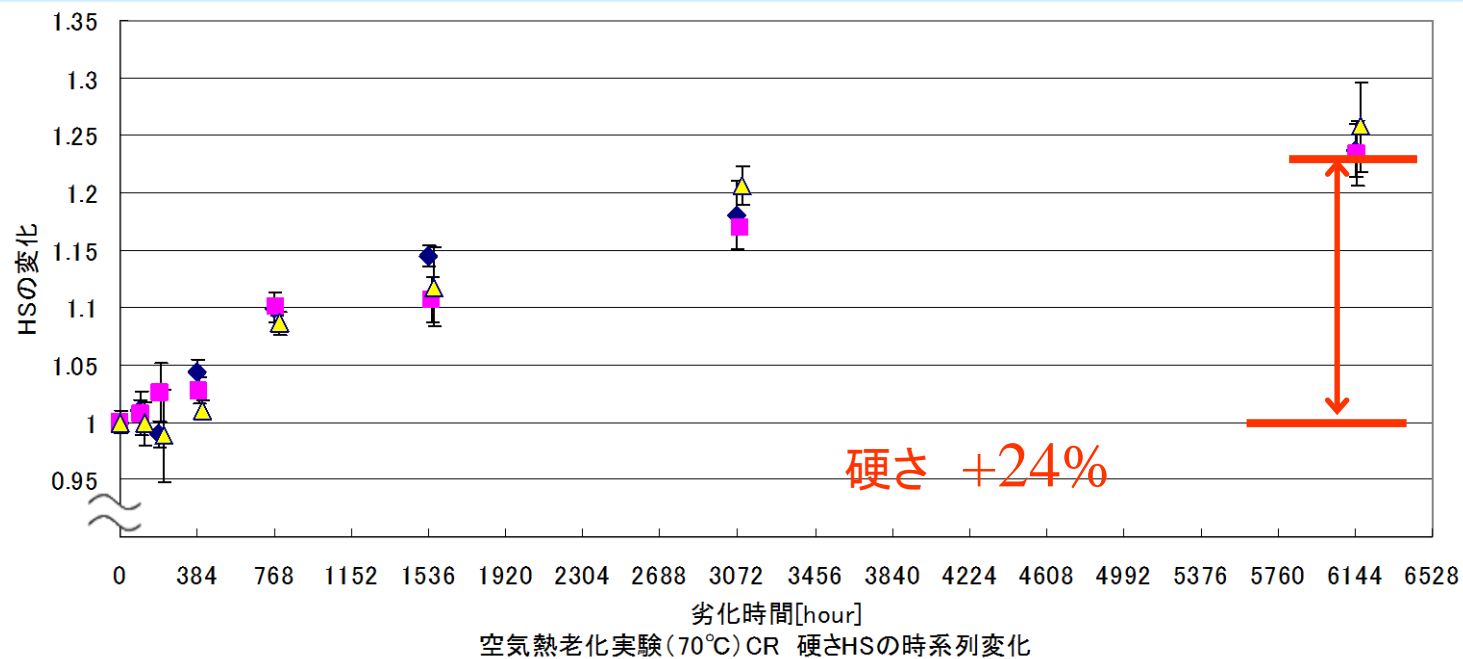


CRのオゾン劣化

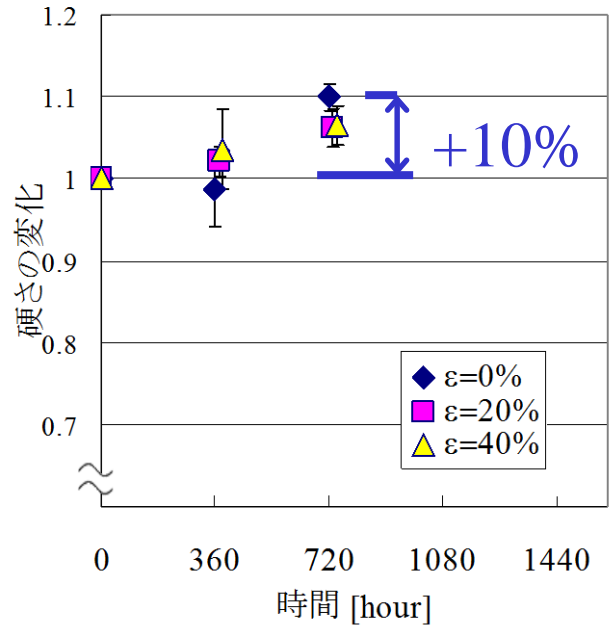
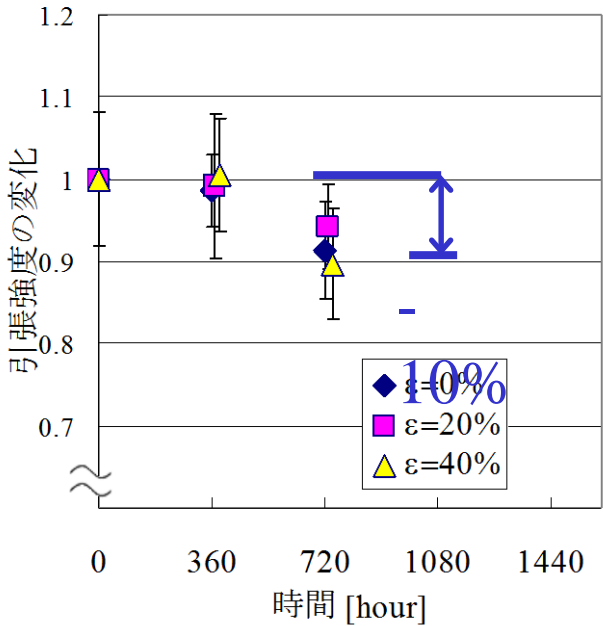
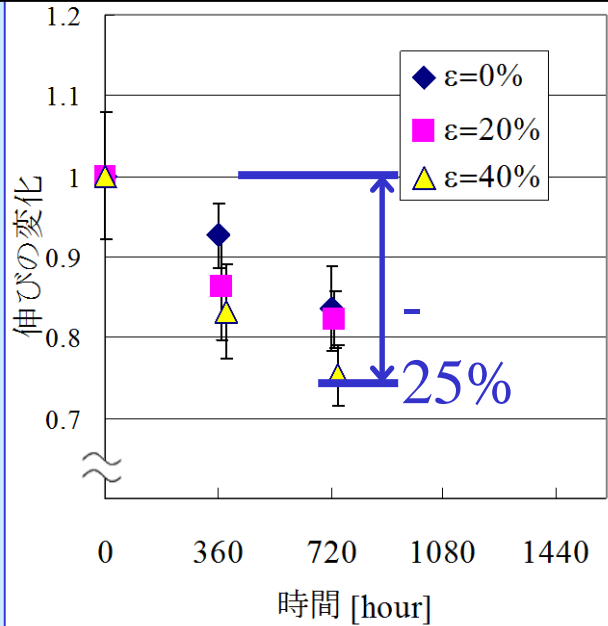


CRの熱劣化

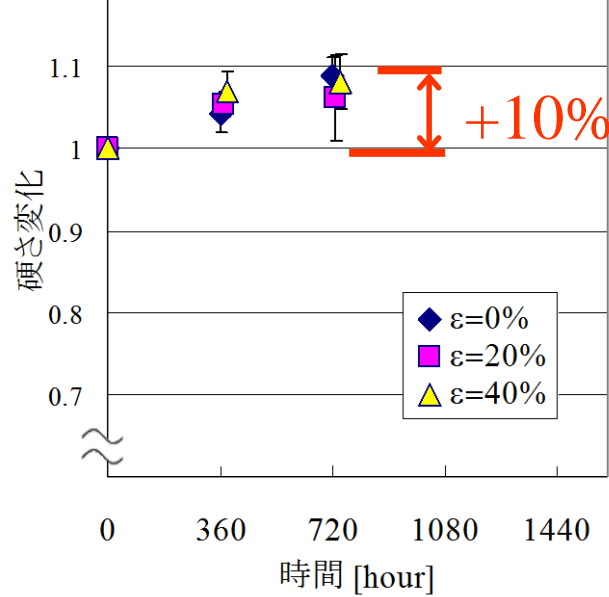
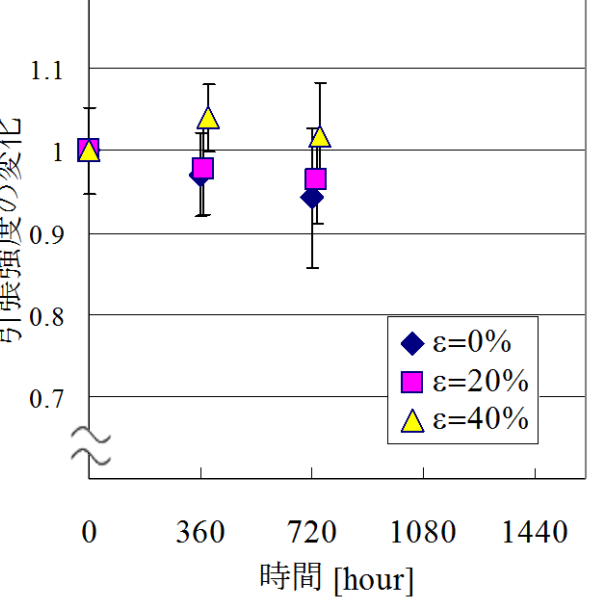
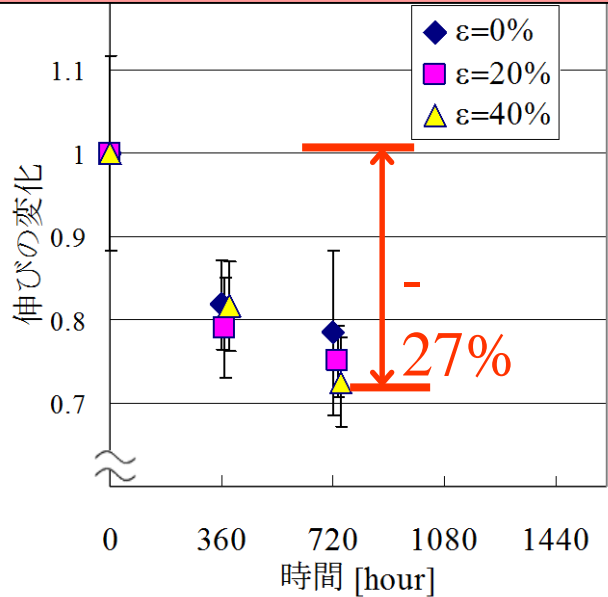




NRの光劣化



CRの光劣化



熱老化実験の相当年数

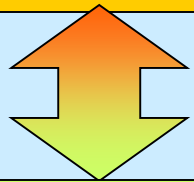
アレニウスにより与えられた反応速度の式をもとに，温度 T_1 における時間 t_1 が温度 T_R で相当する時間 t_R は次の式で求められる

$$\ln \frac{t_R}{t_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_R} - \frac{1}{T_1} \right)$$

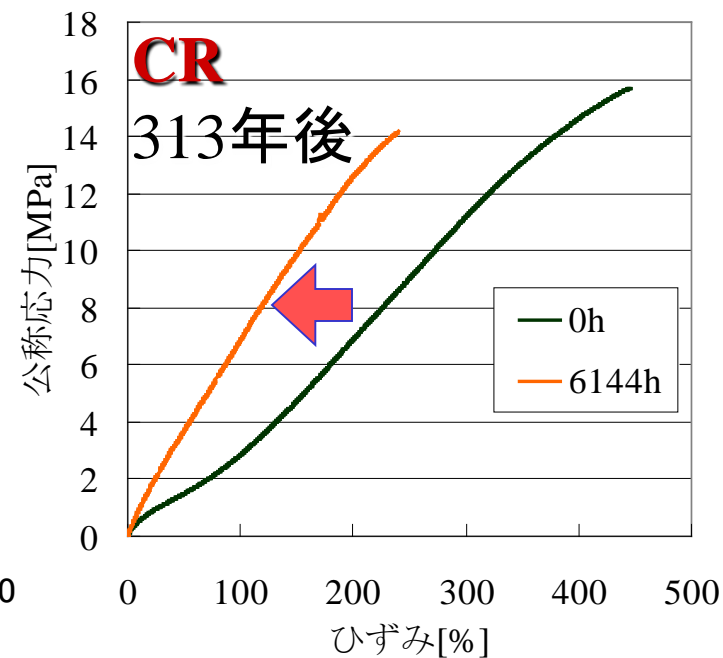
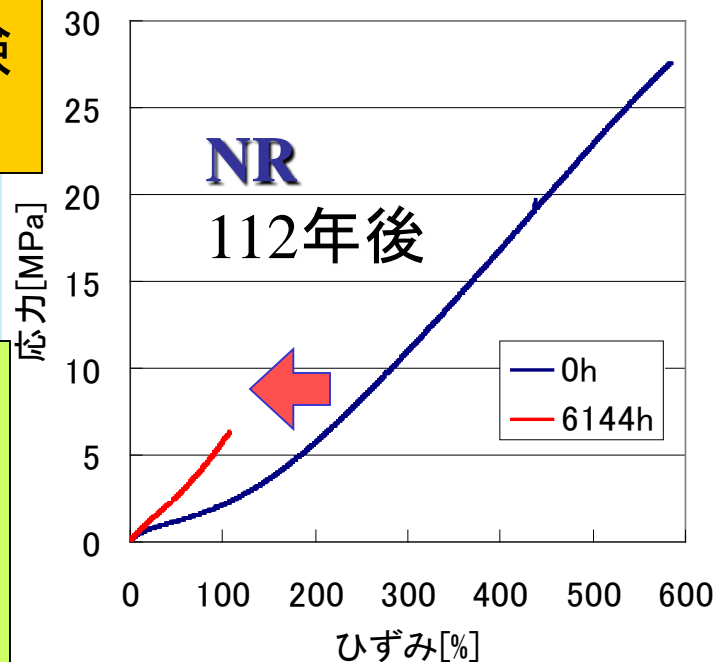
E_a : 熱劣化の活性化エネルギー[J/mol] (NR : , CR :)

R : 気体定数 (8.314 J/molK)

70℃ 熱老化実験
6144 時間



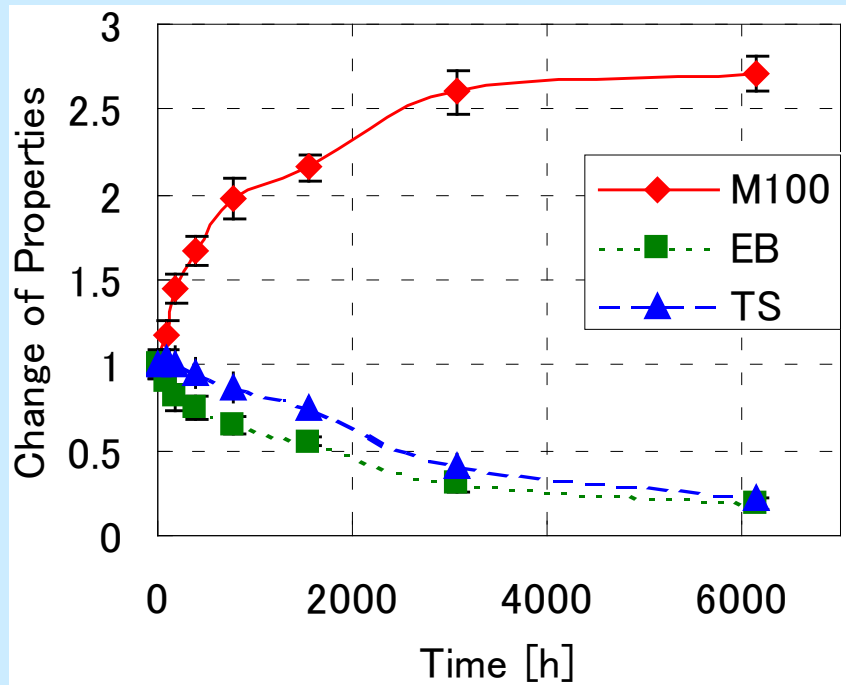
25℃環境下で
NR: 112年相当
CR: 313年相当



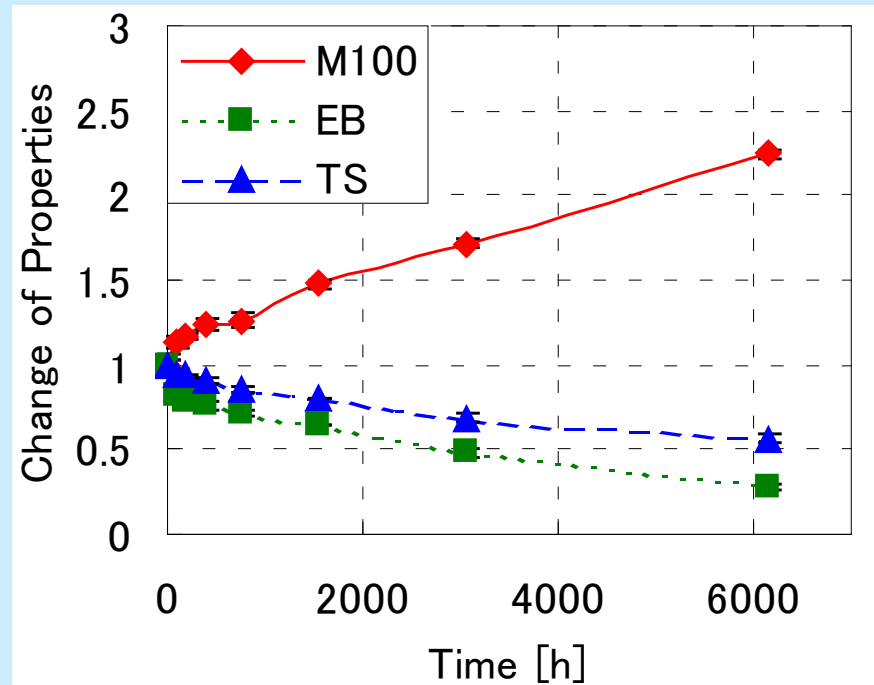
熱老化の時間依存性

Thermal Oxidation

M100: 100%ひずみ時応力
EB: 破断時伸び
TS: 引張強さ

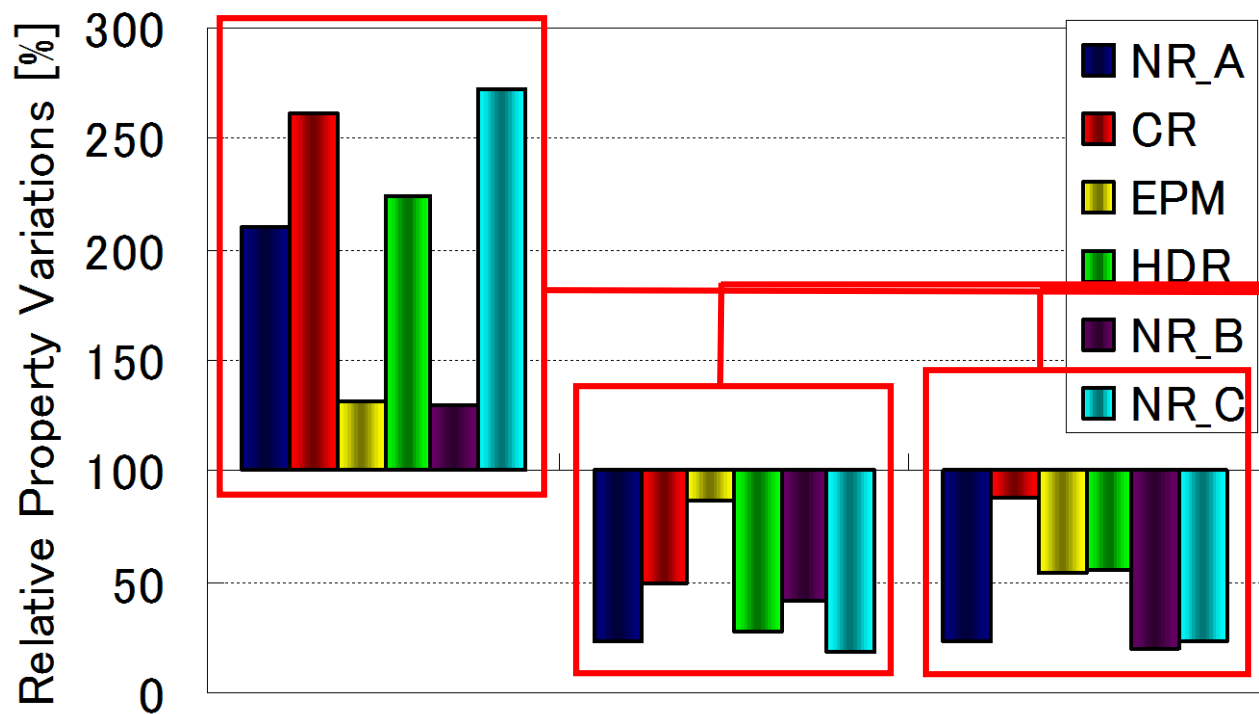


NR_C



HDR

各種ゴム支承材料の熱老化



M100

Elongation at Break

Tensile Strength

Thermal Oxidation (6144 hours)

Emulsion

Stitching

NR_B

NR_D

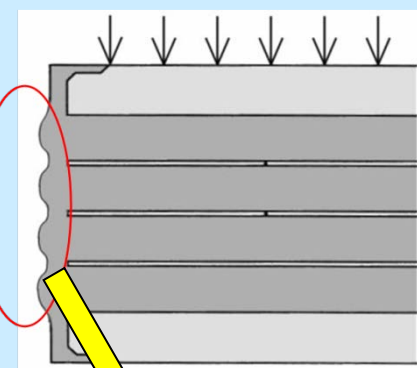
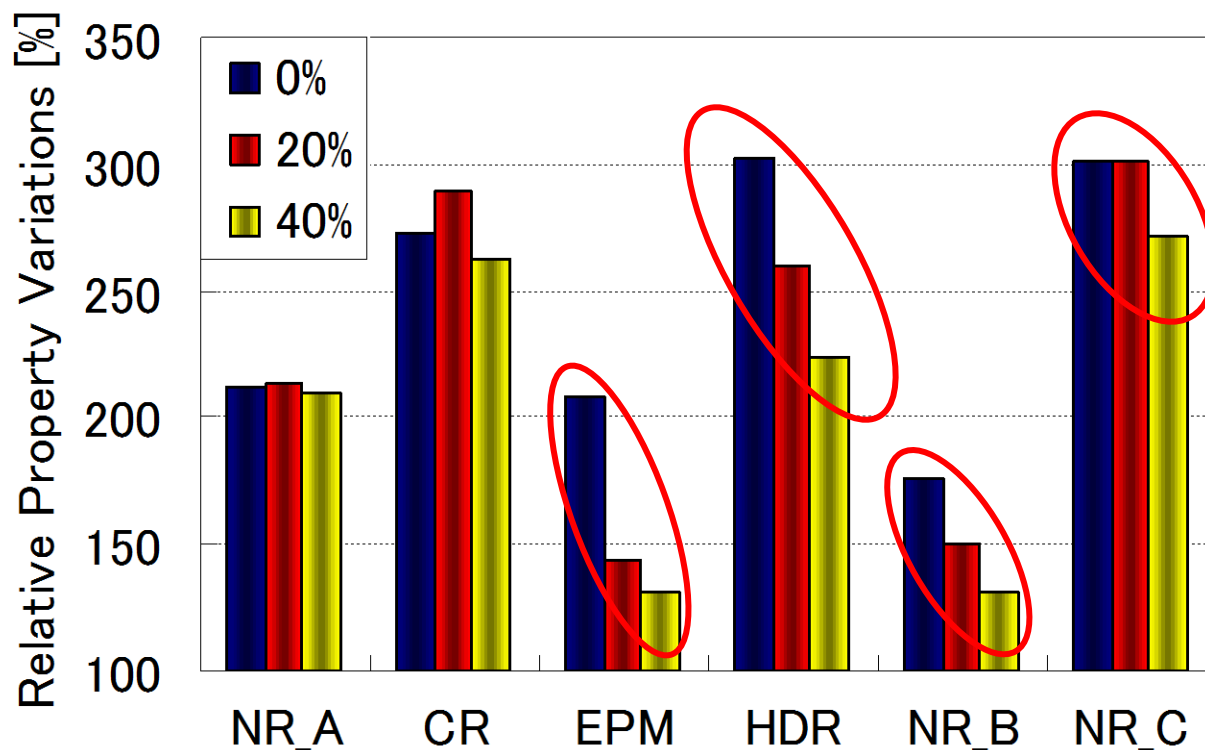
NR_C

NR_A

NR_B

CR

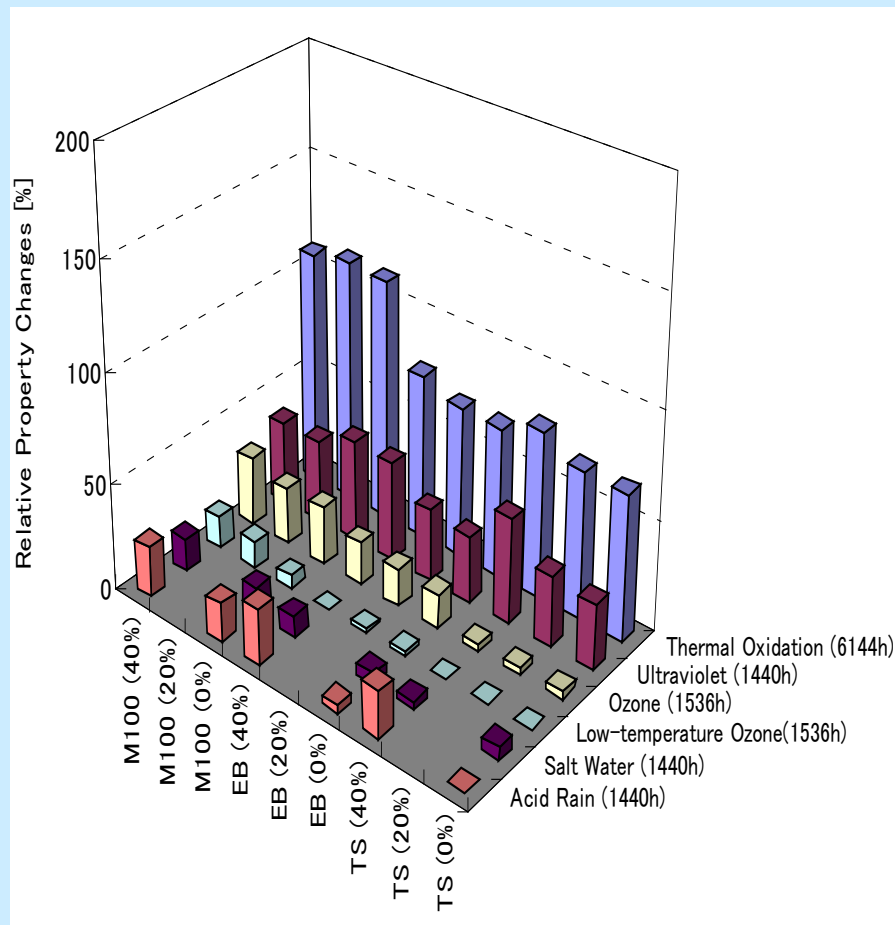
初期ひずみの影響



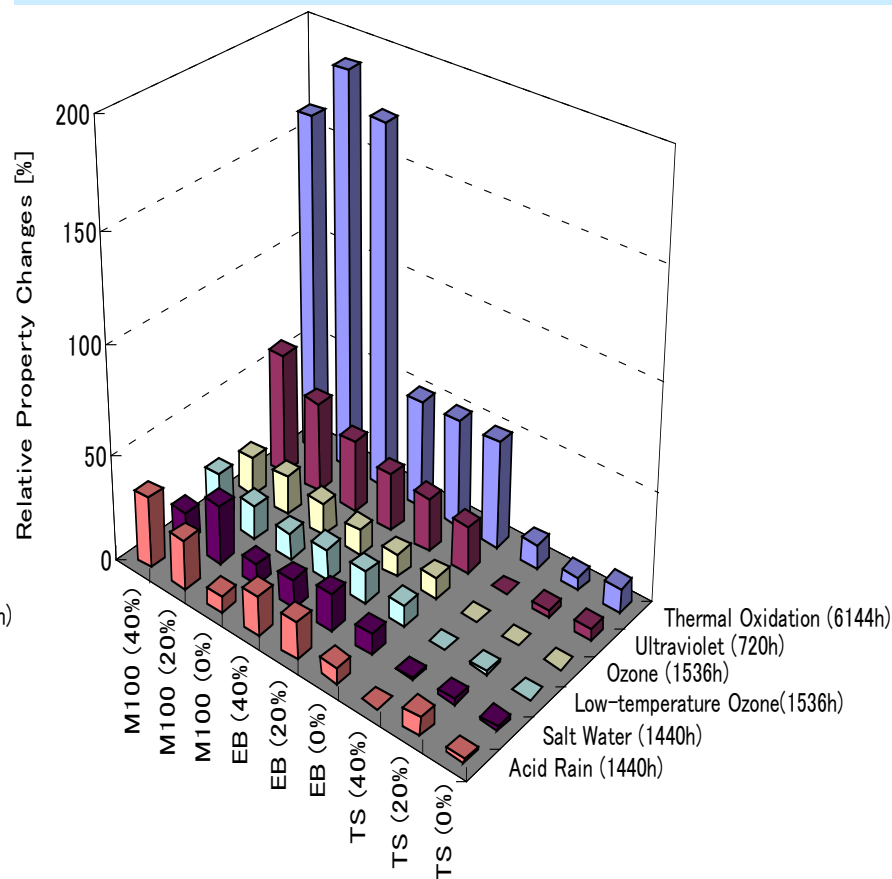
Tensile state

M100 in Thermal Oxidation Test (6144 hours)

ゴム支承材料の主要な劣化要因

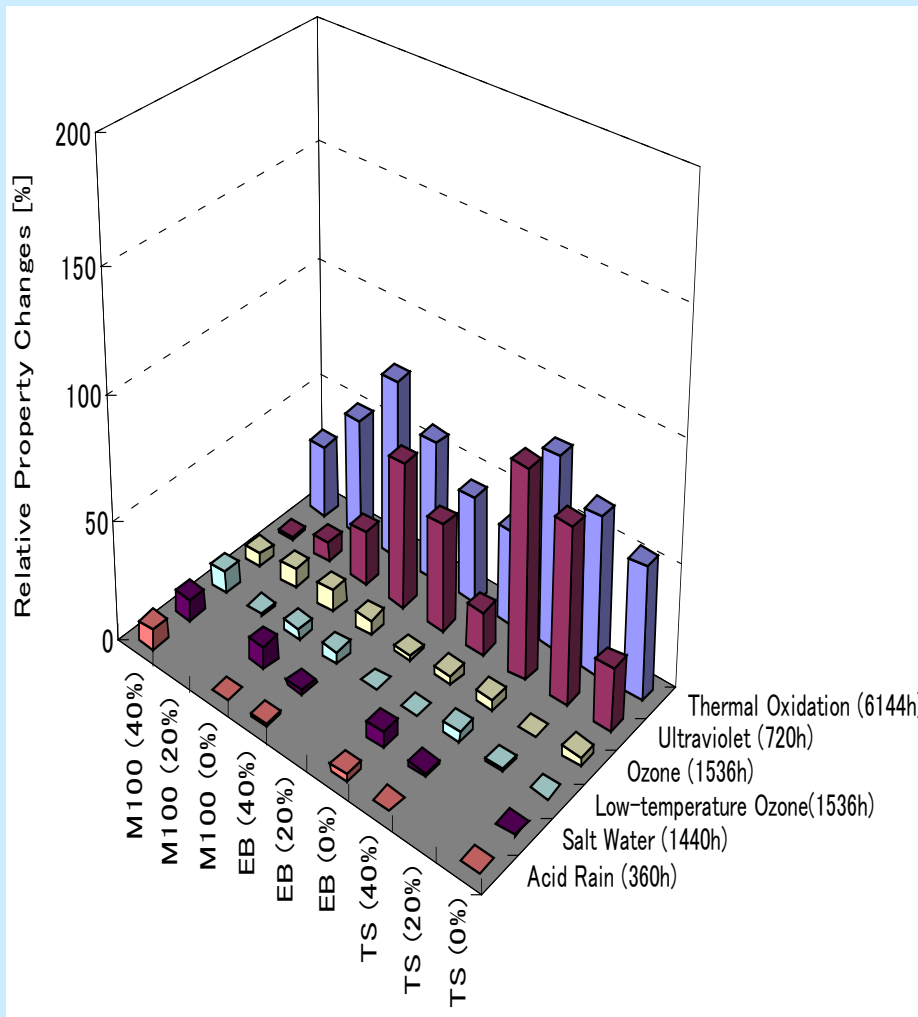


NR(天然ゴム, A社)

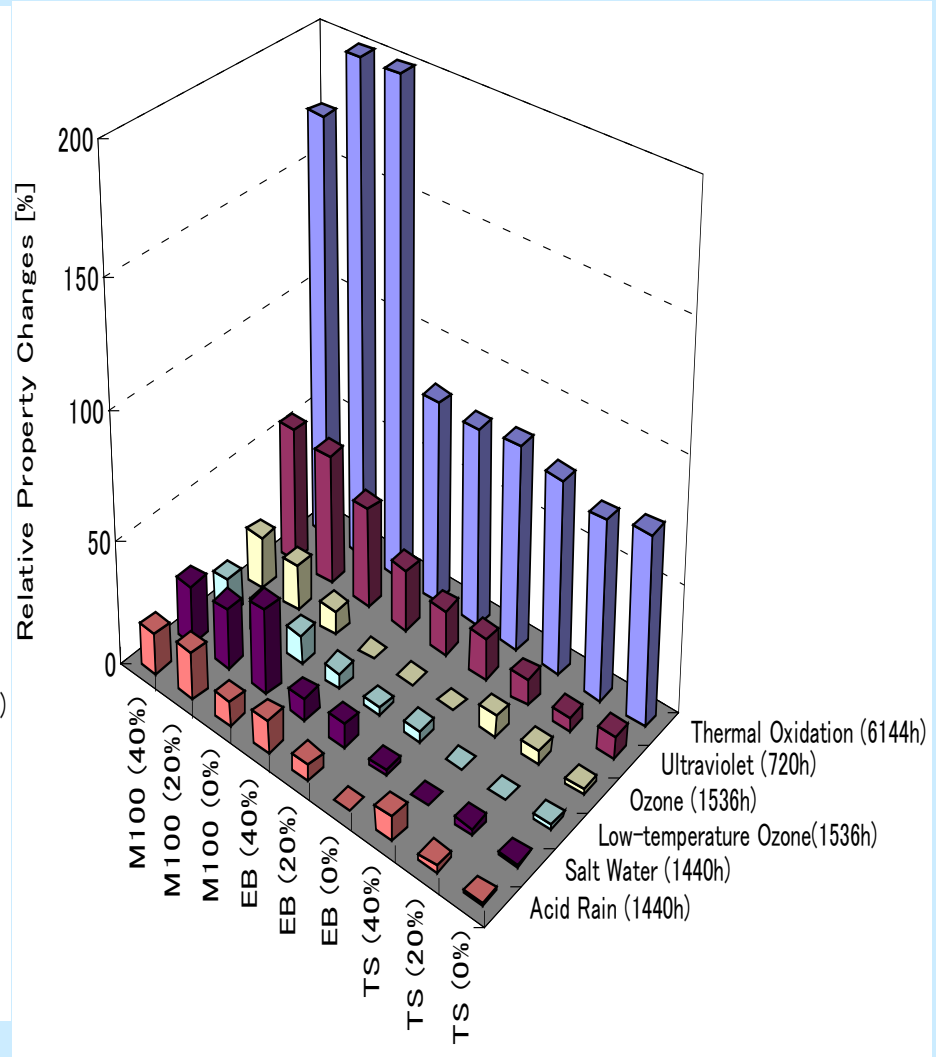


CR(合成ゴム, Chloroprene)

ゴム支承材料の主要な劣化要因

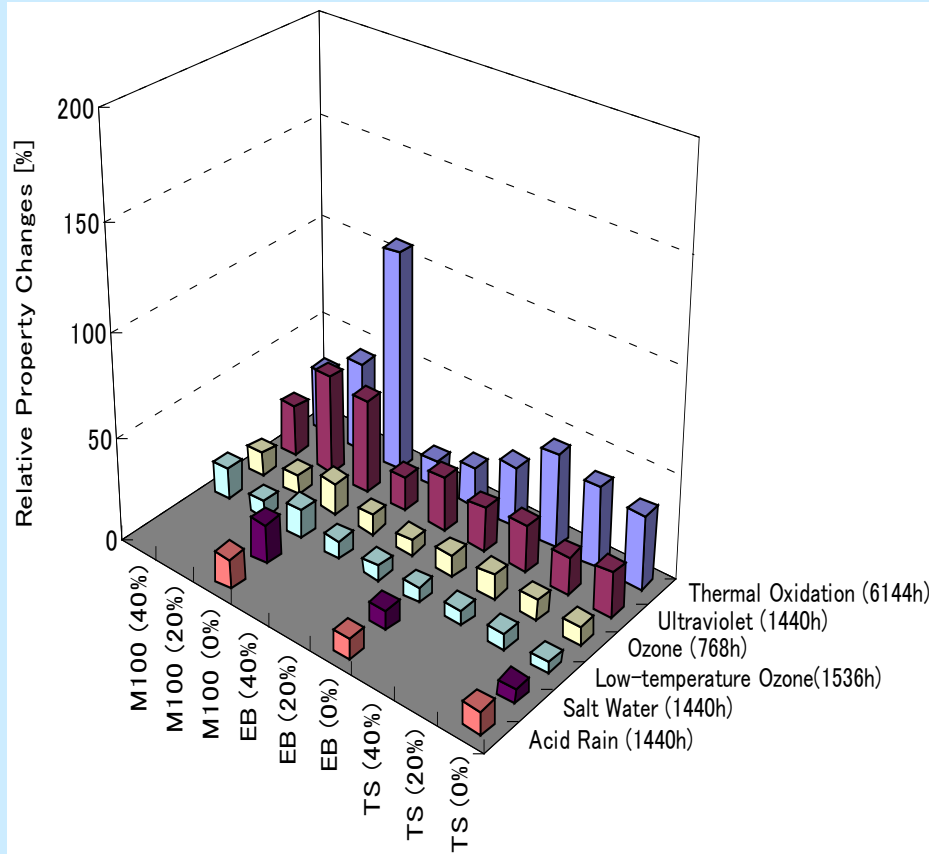


天然ゴム(B社)

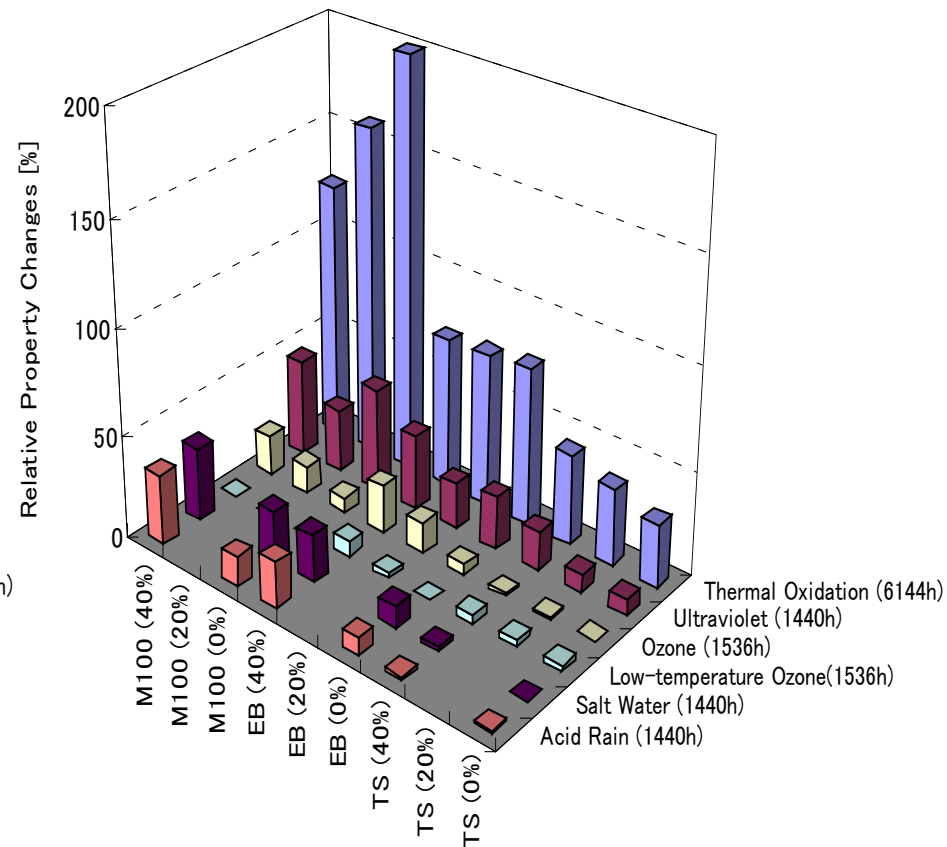


天然ゴム(C社)

ゴム支承材料の主要な劣化要因



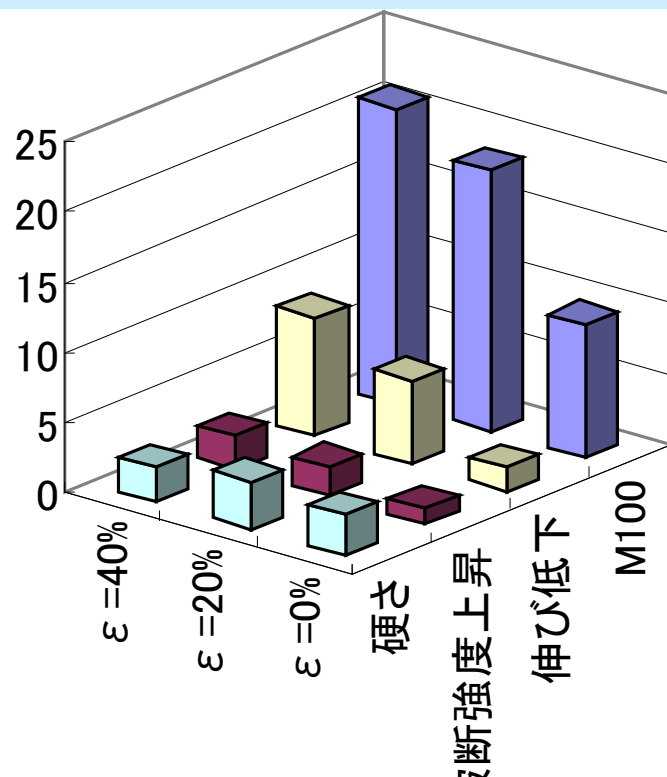
EPM/EPDM (Ethylene-Propylene)



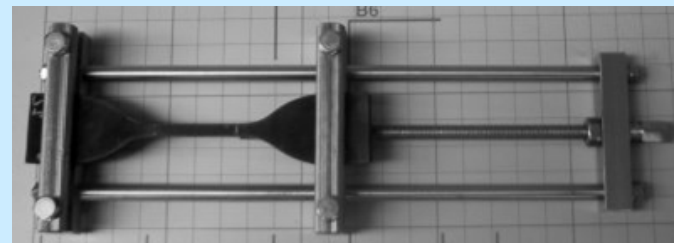
HDR (高減衰ゴム)

予ひずみの影響

予ひずみ ε の大きさと相関性が見られた特性値及び外観変化



40°Cオゾン劣化実験NRの
予ひずみ依存性



特性値変化の依存性

NR, CRの場合ともオゾン劣化に
依存性

オゾン以外の劣化要因では依存
性少ない

外観変化の依存性

NRの光劣化実験

$\varepsilon = 40\%$ のみクラックが発生

主要な劣化要因の絞込み

熱劣化(熱老化)

支承用ゴムの劣化に大きく影響する。→

長期劣化予測での扱い

主要な劣化要因

供用期間全体で考慮

光劣化

大きく影響する。クラックを発生させることもある。→

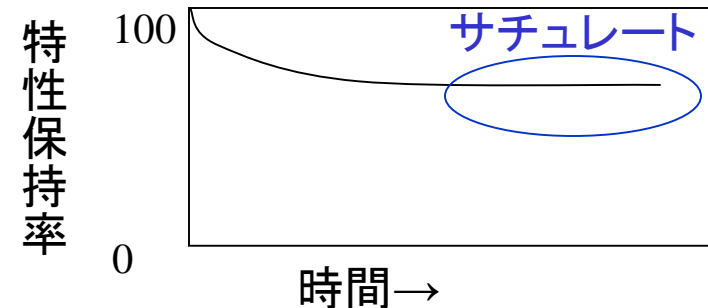
考慮すべき劣化要因

(特に日の当たる部分)

オゾン劣化

支承用ゴムの劣化に影響する。
ただし、ある程度劣化が進行すると
サチュレートする。→ **問題発生**

サチュレートしたときの特性値が小さければ無視



塩水・酸性雨

オゾン劣化と同等。
支承用ゴムに対する影響は小さい。

本日の内容

1. 簡単な自己紹介

2. 免震ゴム支承の性能劣化特性

1) 材料レベル

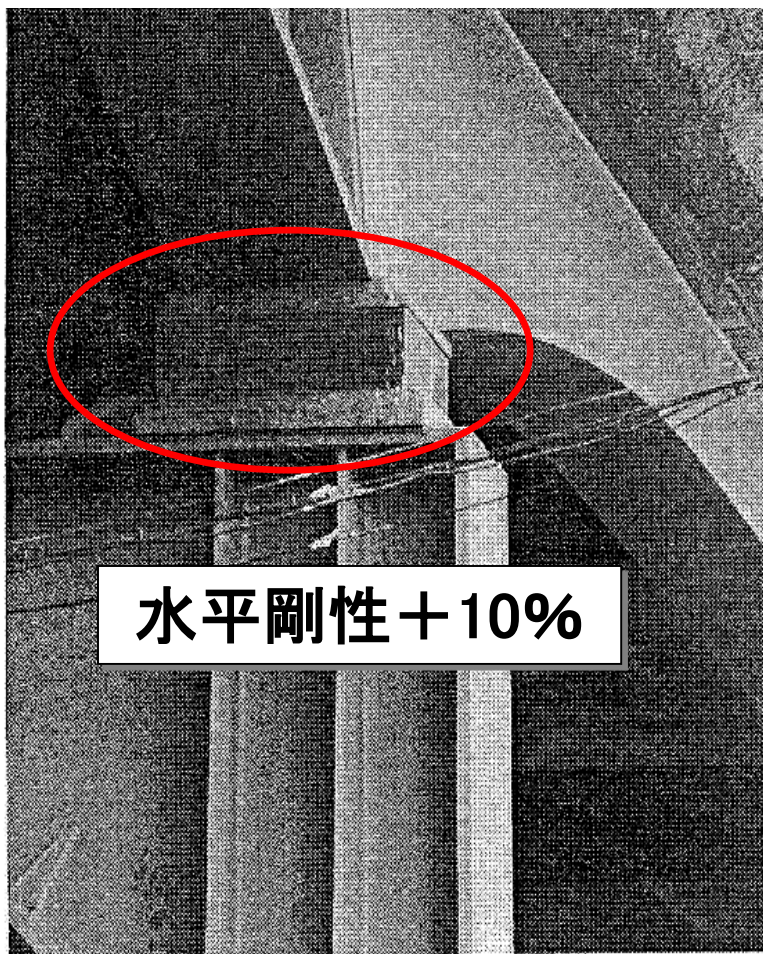
2) 支承レベル

3) 橋梁レベル

3. 最近の課題

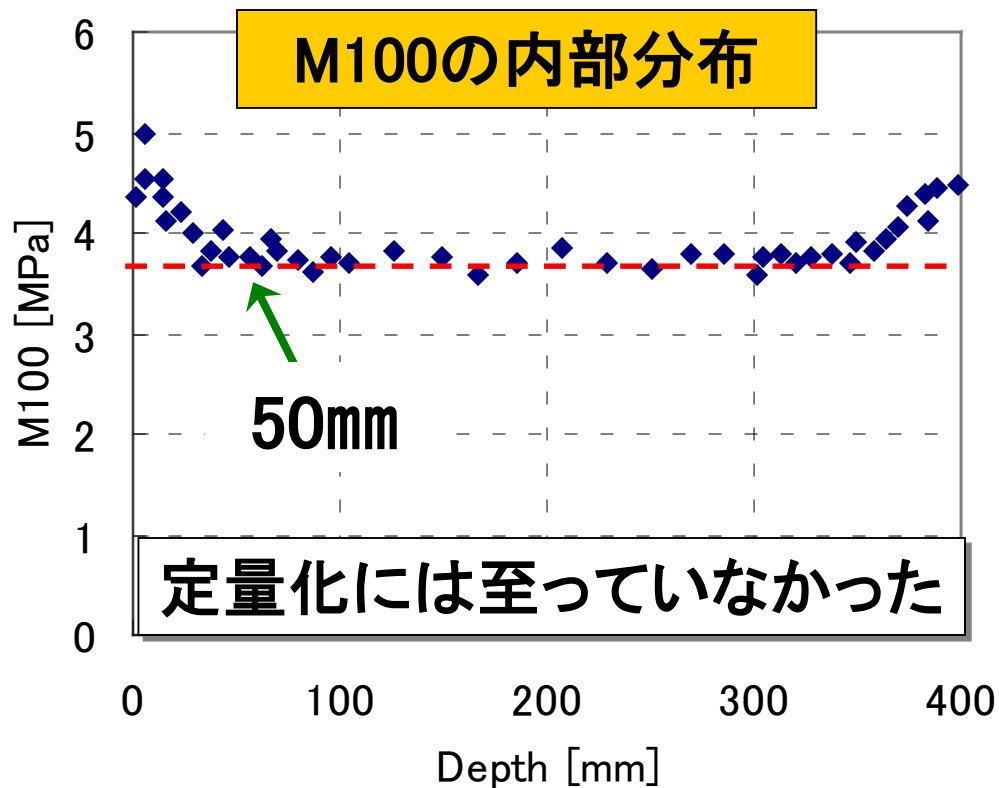
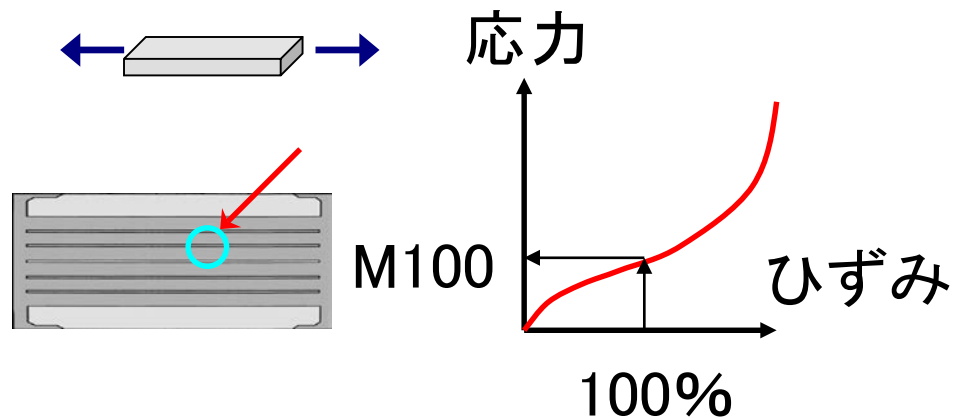
ゴム支承の劣化

Pelham橋(平均気温; 9.2°C)
38年間使用 NR支承



水平剛性+10%

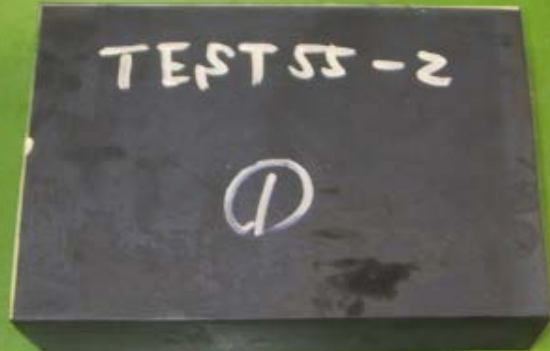
Pelham橋ゴム支承(渡部ら, 1996)



加熱促進劣化実験

** 供試体・条件 **

ゴムブロック(30体)



W:220 H:150 D:50
[mm]

ギヤーオープン中の
ブロック



材料 : 天然ゴム(NR), 高減衰ゴム(HDR)

実験温度 : 60, 70, 80 [°C]

実験時間 : 5段階 (最長300日間)

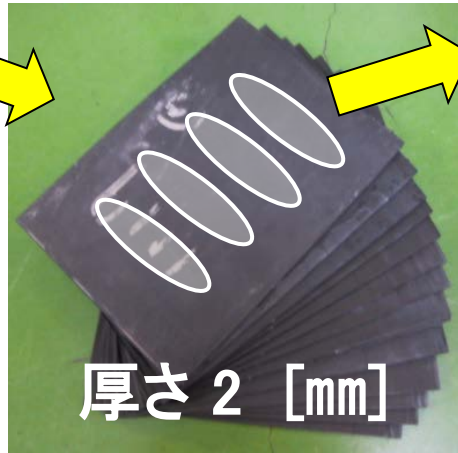
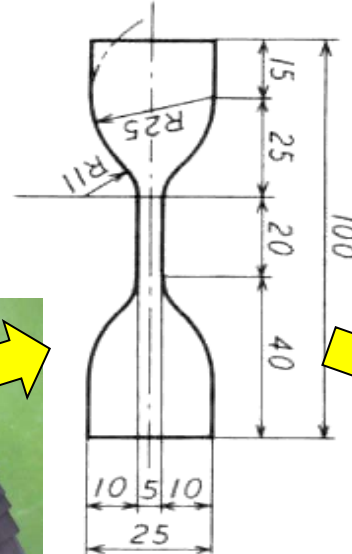
加熱促進劣化実験

**** 実験の流れ ****

加熱促進劣化



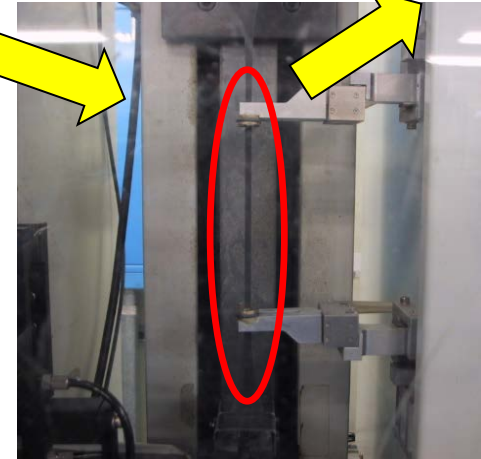
3号ダンベル試験片



厚さ 2 [mm]

スライスと試験片採取

応力-ひずみ曲線



引張試験

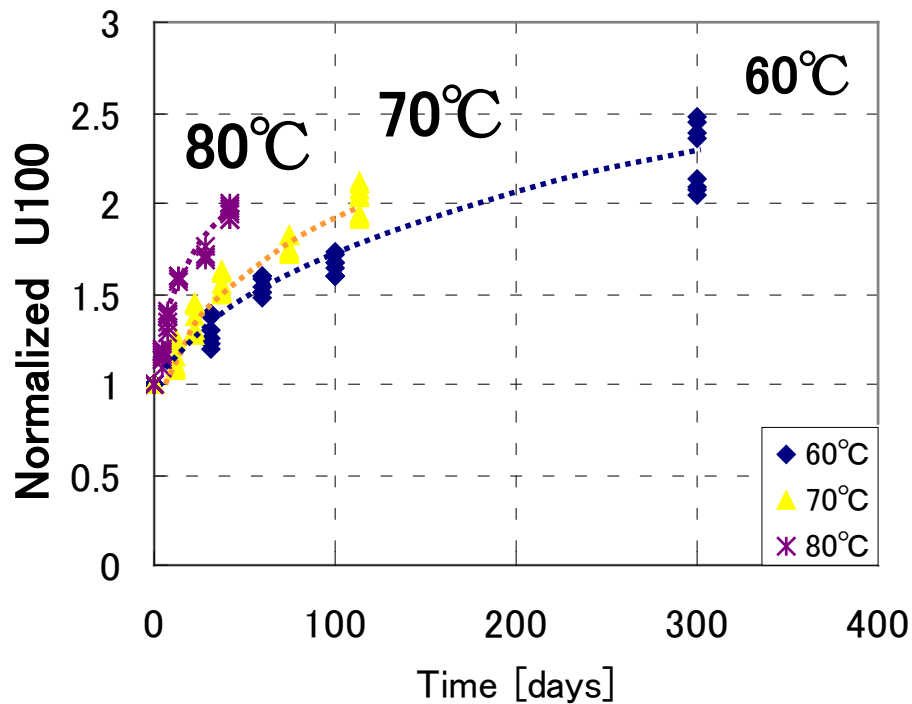
※試験片総数: 約3000体

実験結果

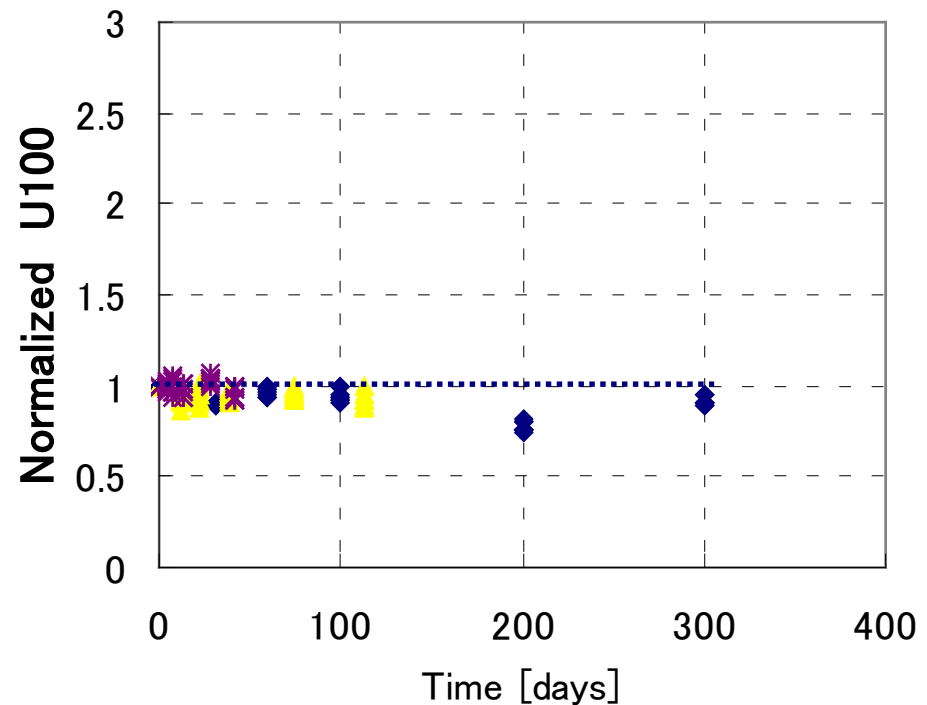
** U100の時刻歴変化 NR(天然ゴム)**

表面 : 時間と共に増加. 勾配は緩やかに.
内部 : 変化なし

表面

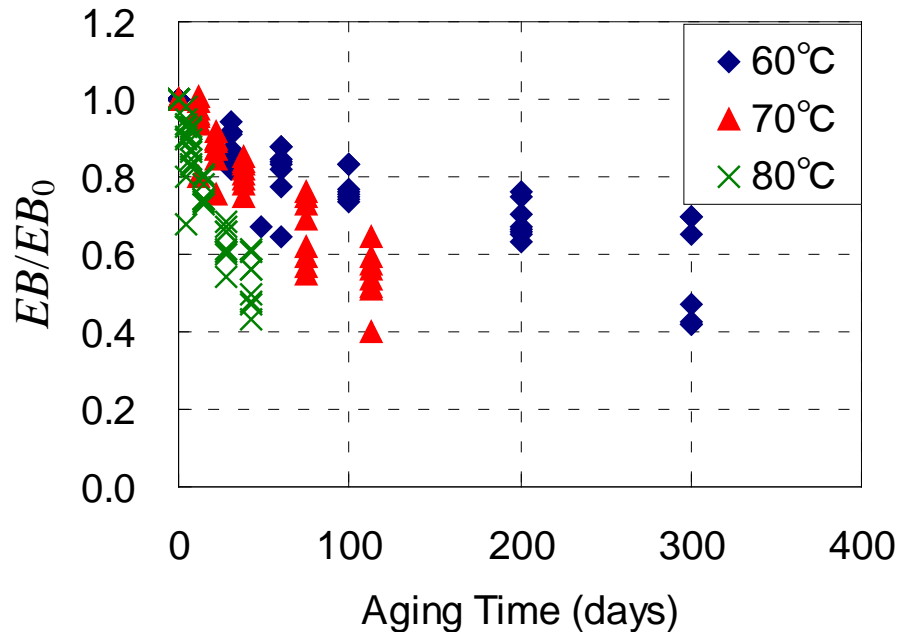


内部

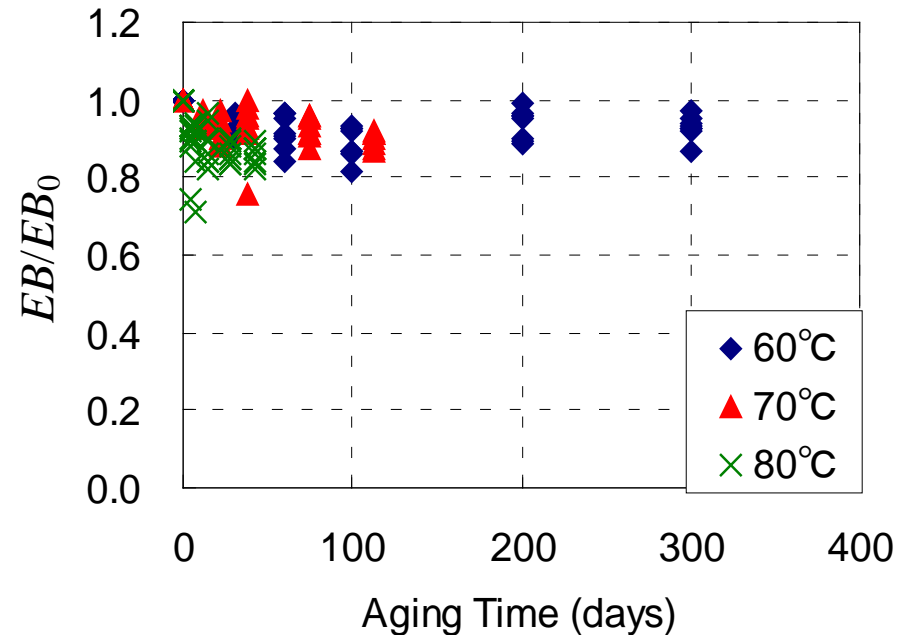


EB Change in NR Block

表面



内部

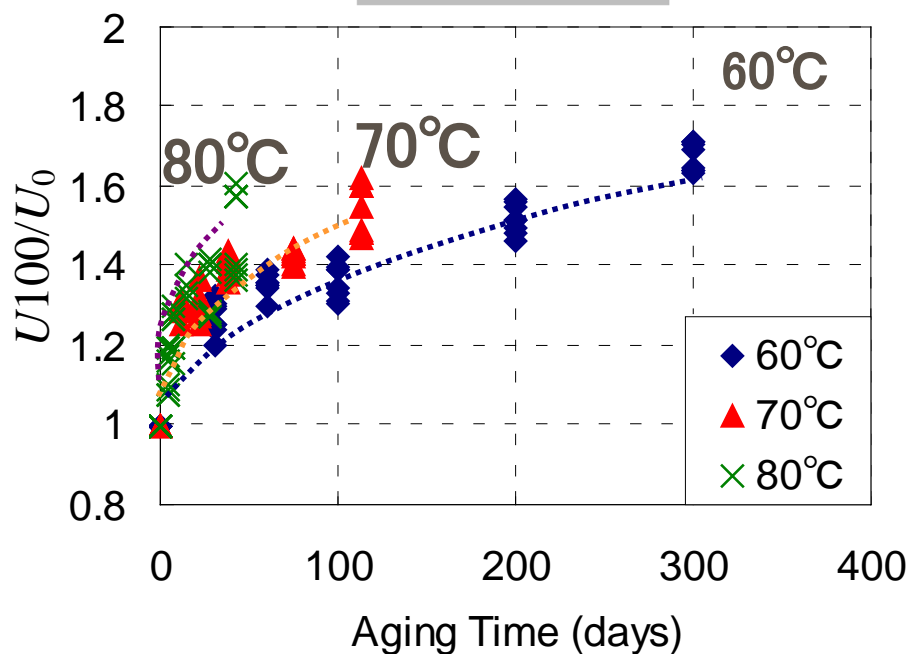


表面: 時間と共にEB(破断時伸び)の減少
内部: 変化なし

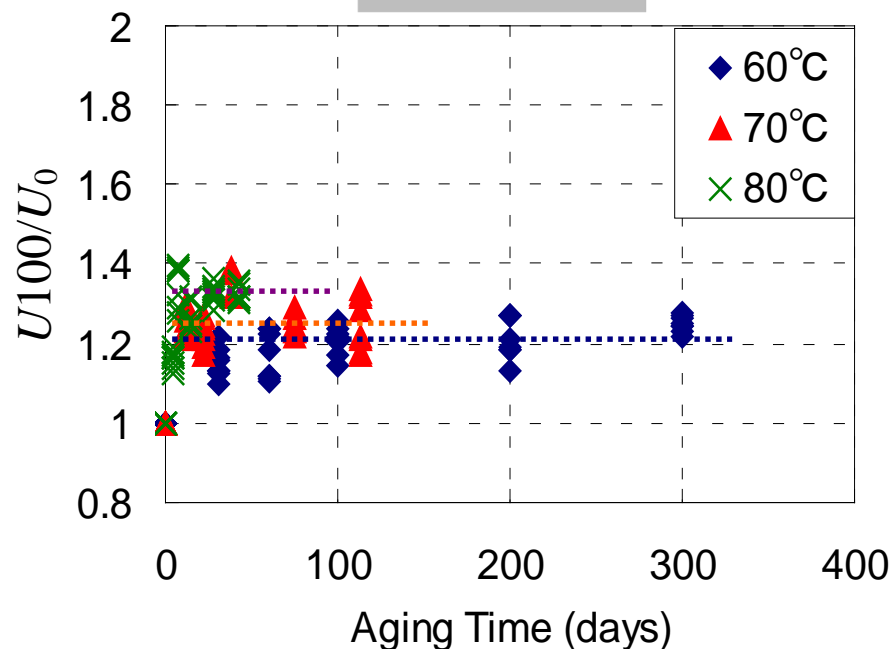
実験結果 ** U100の時刻歴変化 HDR(高減衰ゴム) **

U100 Change in HDR Block

表面



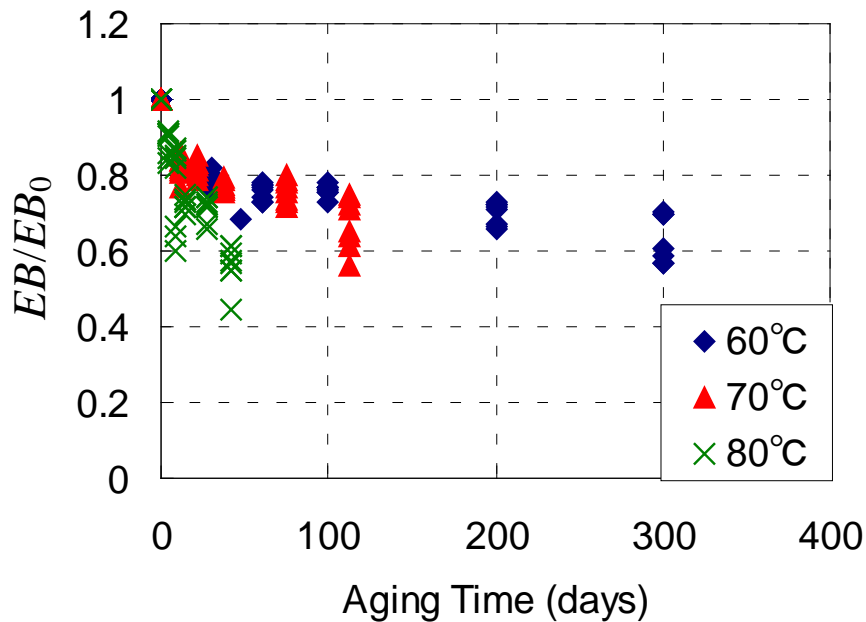
内部



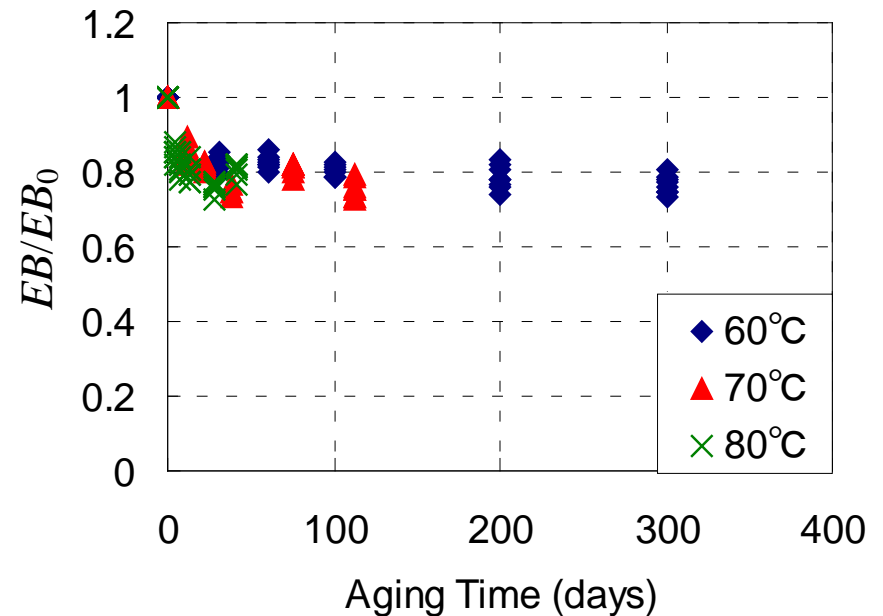
表面: U100(100ひずみ時応力)時間とともに増加
内部: 初期に変化

EB Change in HDR Block

表面

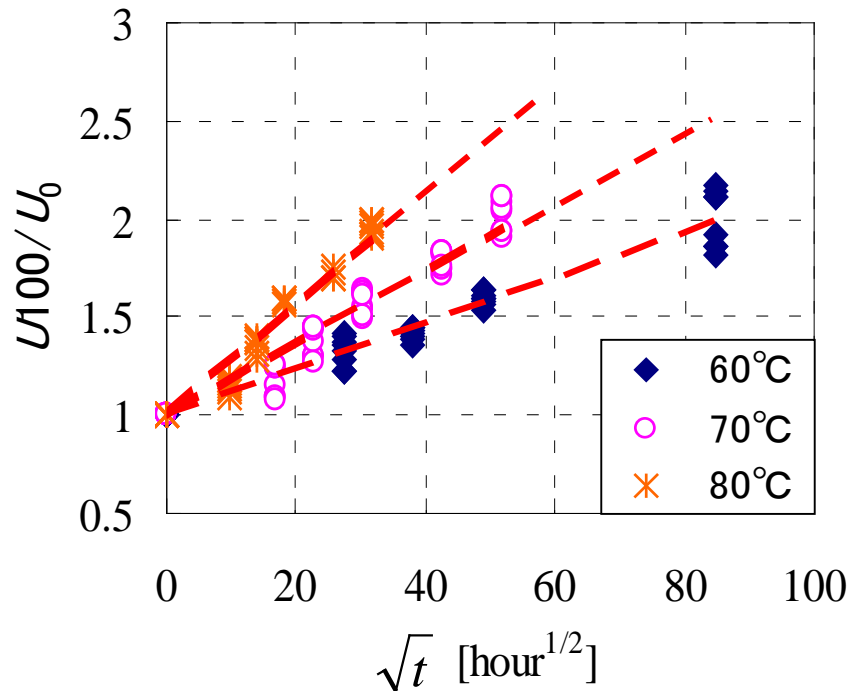


内部

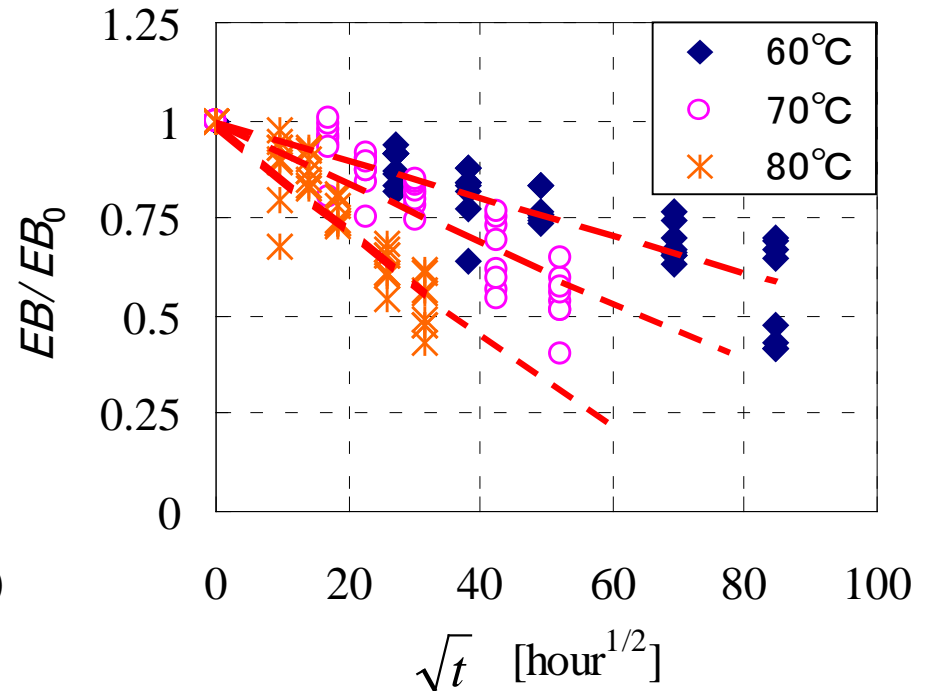


表面: EB(破断時伸び)時間と共に減少
内部: 20%減少

時間軸の $\sqrt{}$ で表示(天然ゴム)

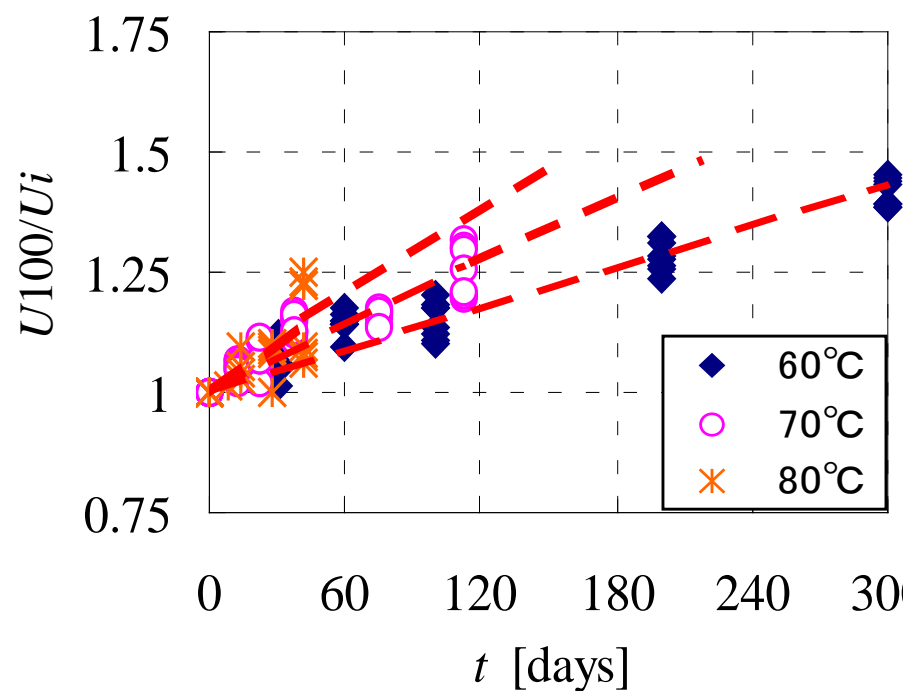


U100

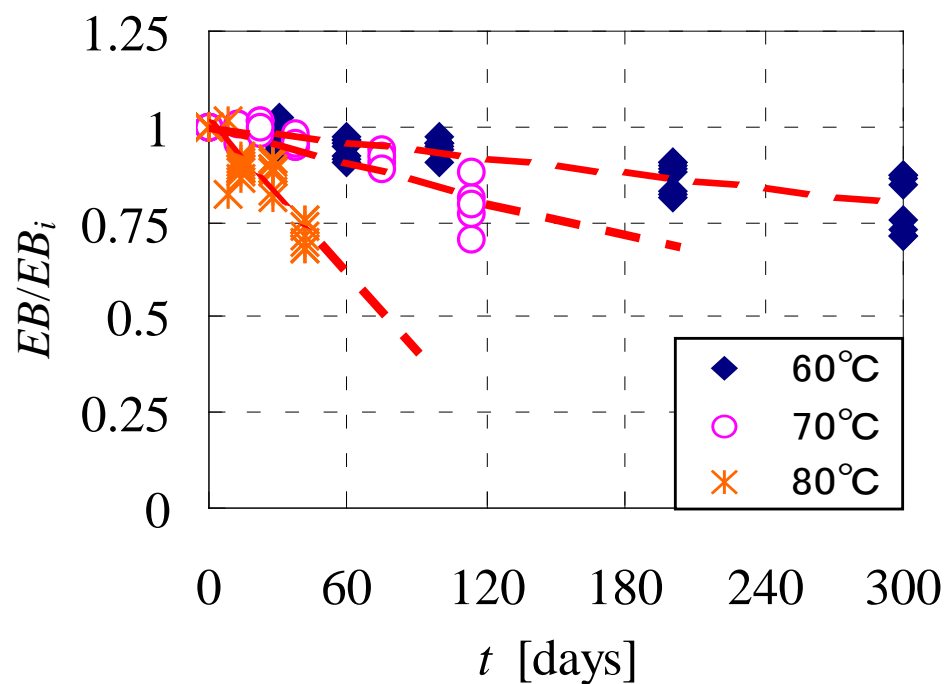


EB

時間軸の $\sqrt{\quad}$ で表示(高減衰ゴム)

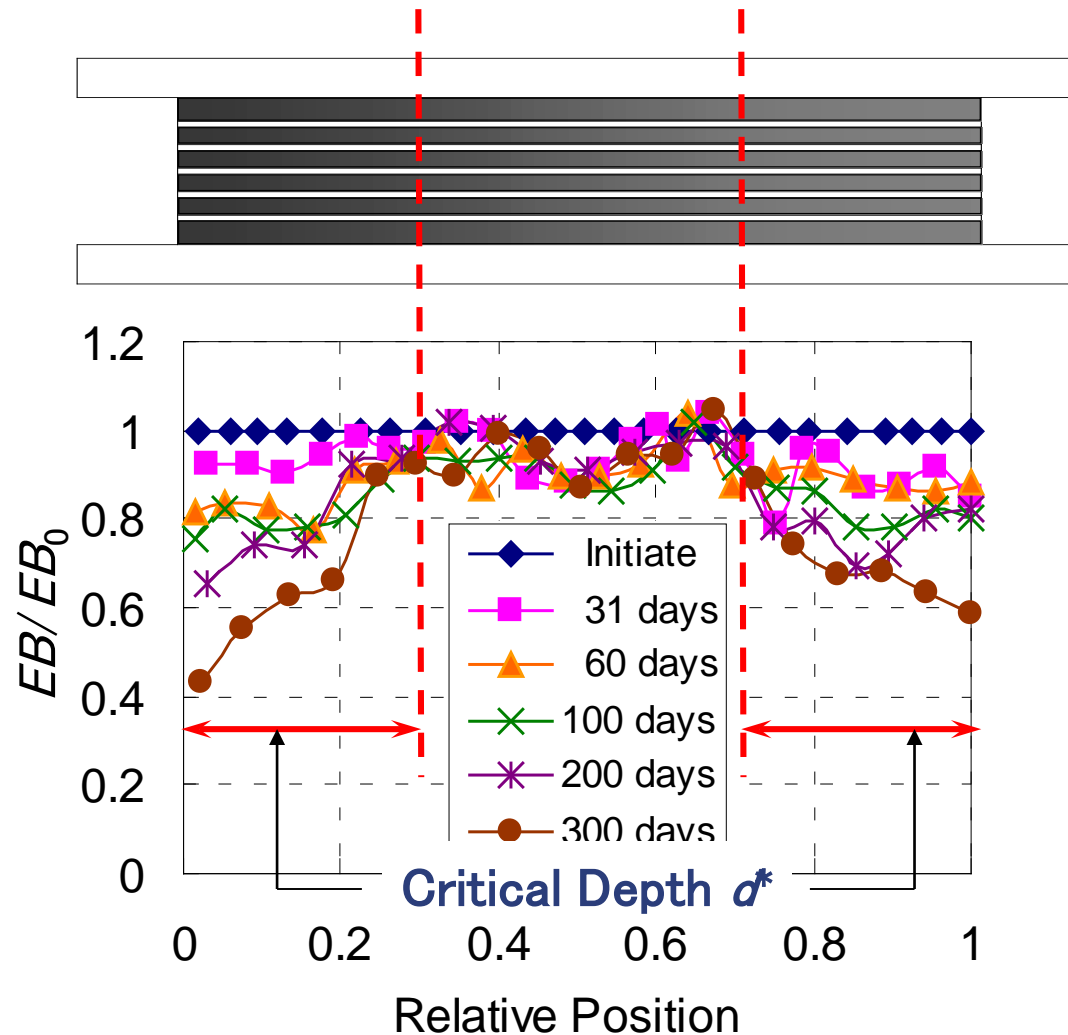


U100



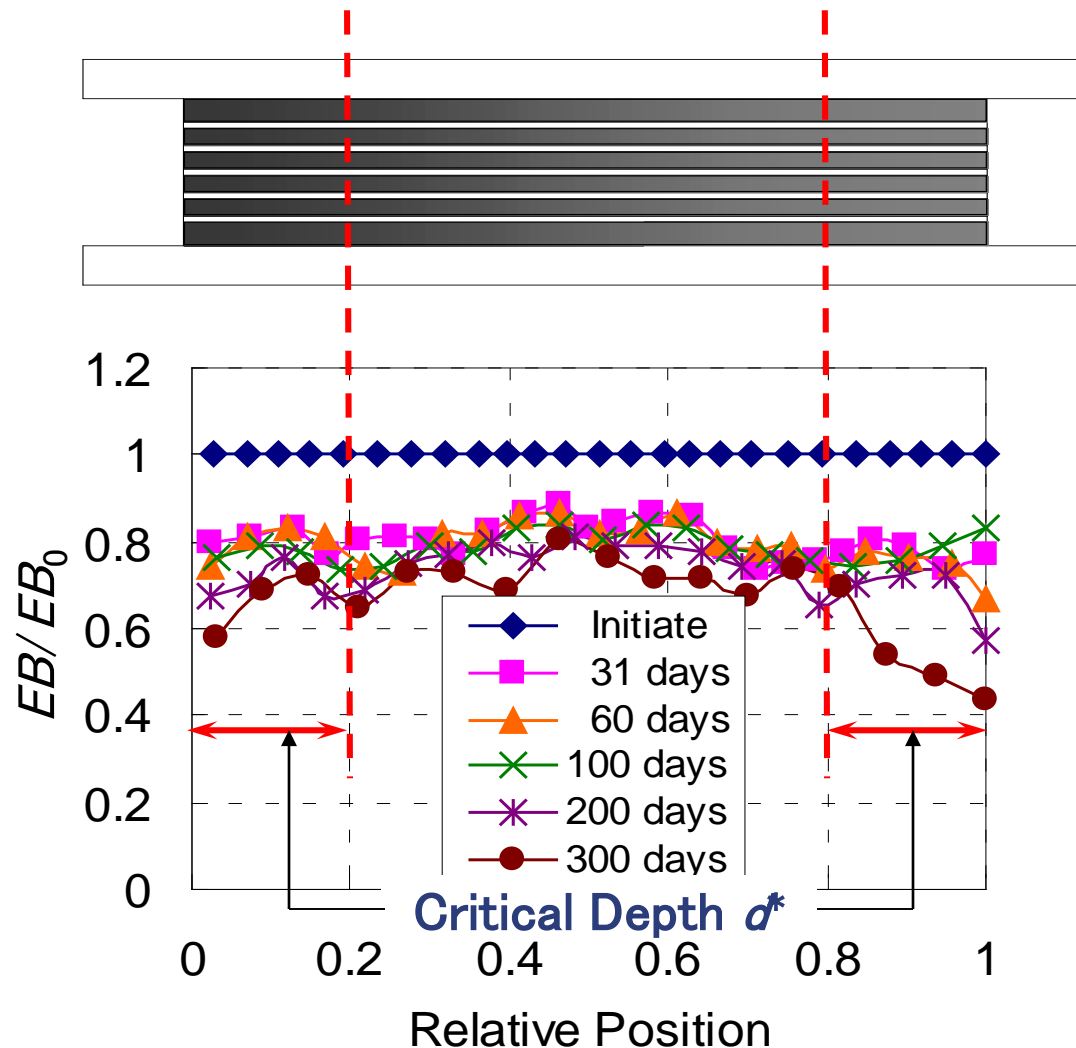
EB

破断時伸びの支承内分布(天然ゴム)



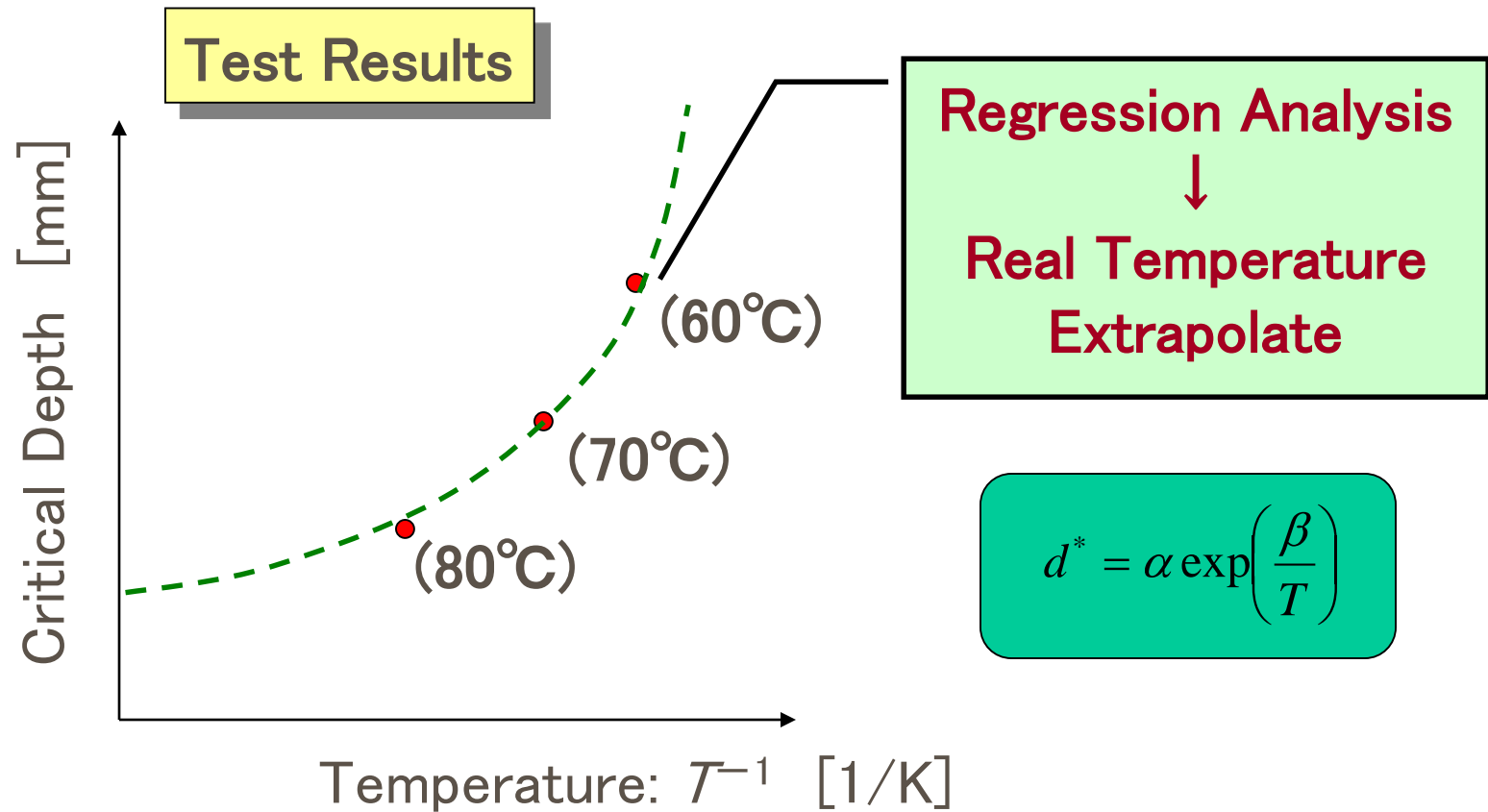
EB Profile
(NR, 60°C)

破断時伸びの支承内分布(高減衰ゴム)



EB Profile
(HDR, 60°C)

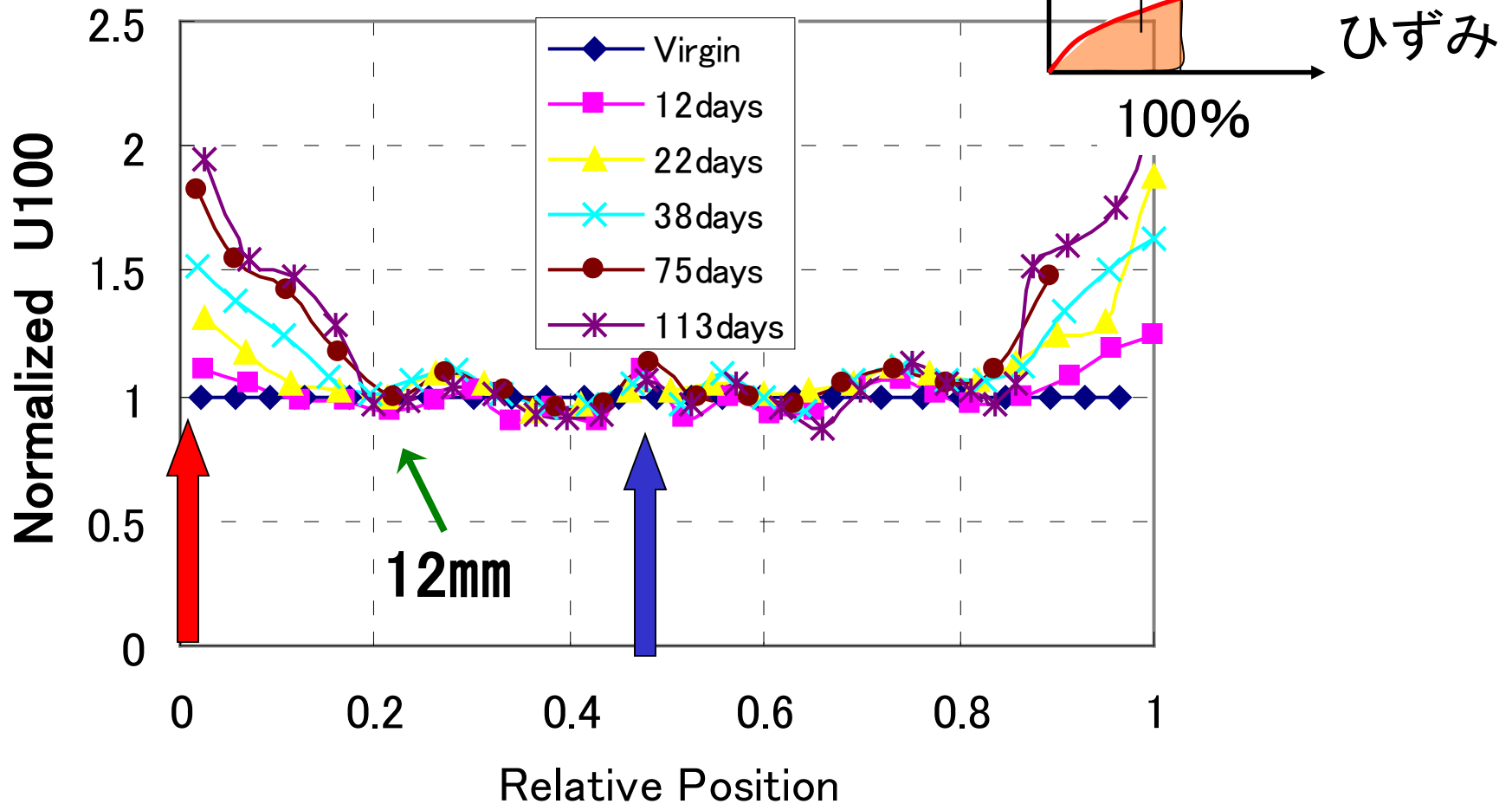
クリティカル深さ(限界深さ)



実験結果

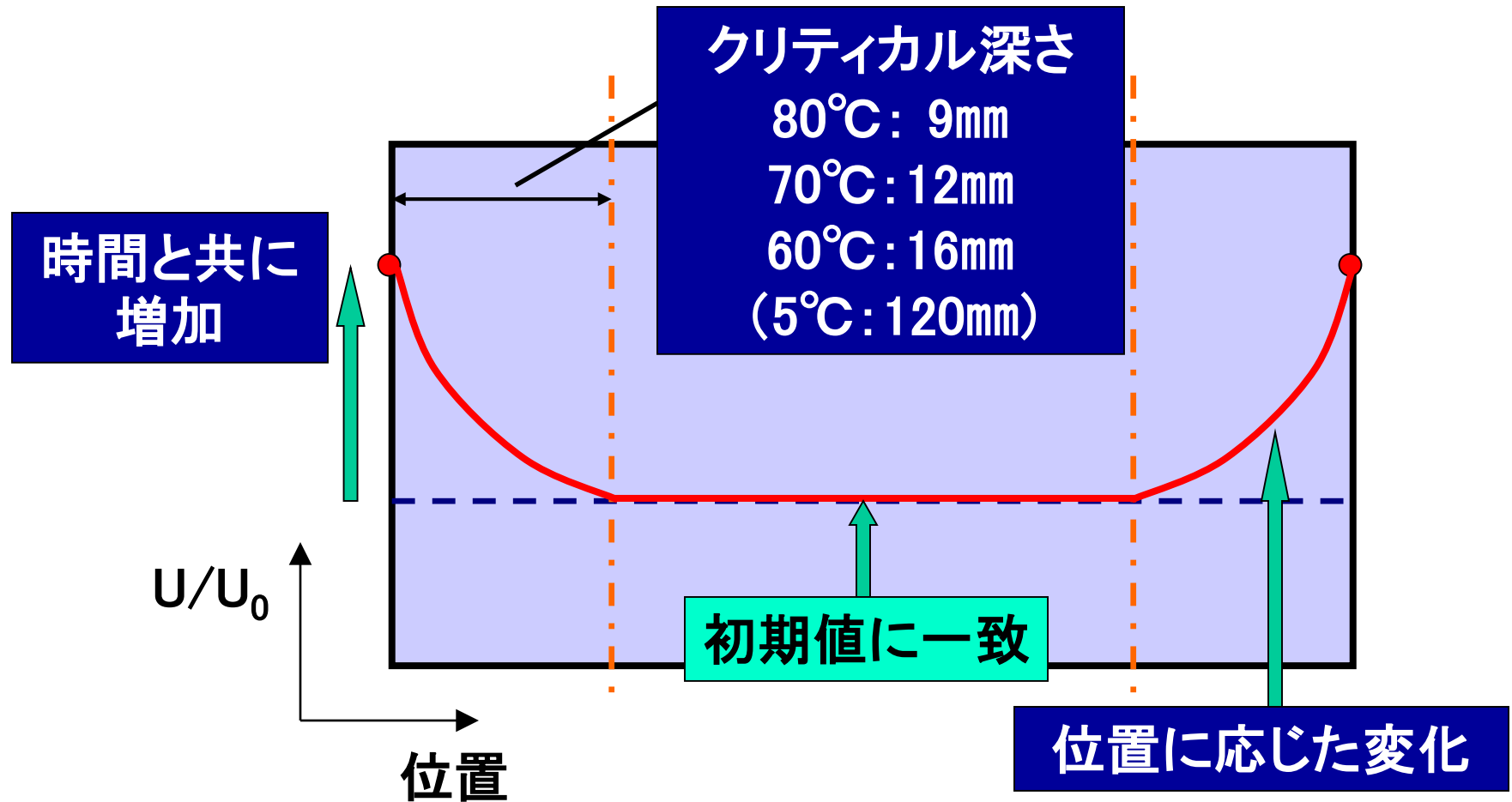
** NR・70℃条件 U100内部分布 **

ひずみエネルギーによる整理



実験のまとめ

** NR材料の劣化特性 **



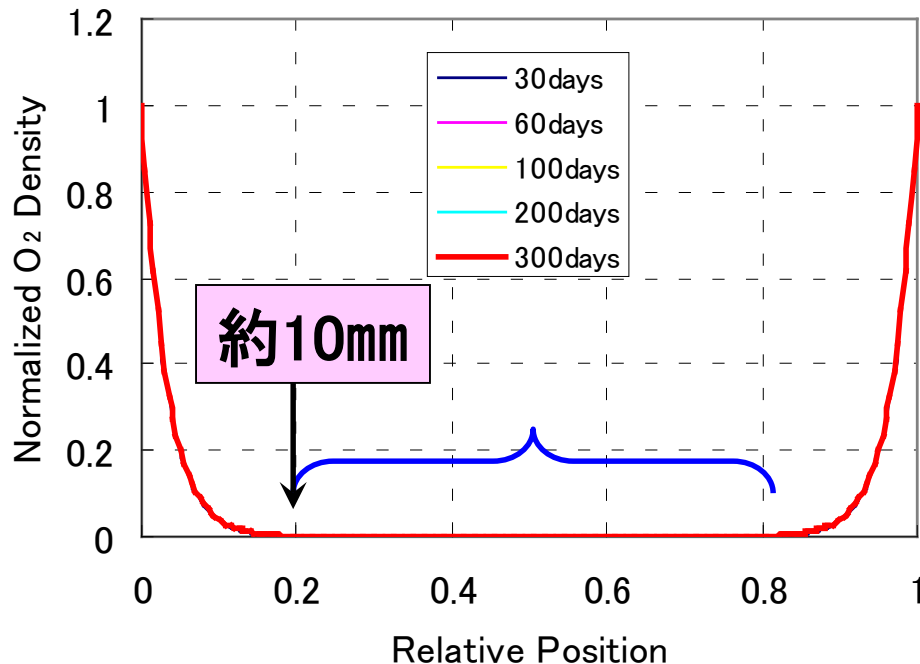
劣化予測(予測モデル)へ反映

実験結果

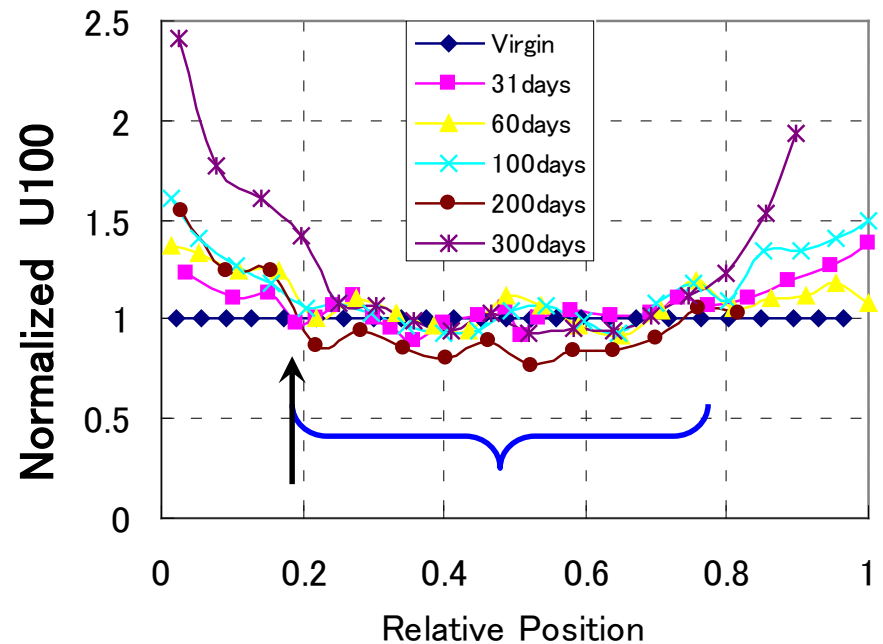
** 酸素の拡散シミュレーション **

内部まで酸素が達しない
→ 熱と酸素濃度に応じた化学的変化

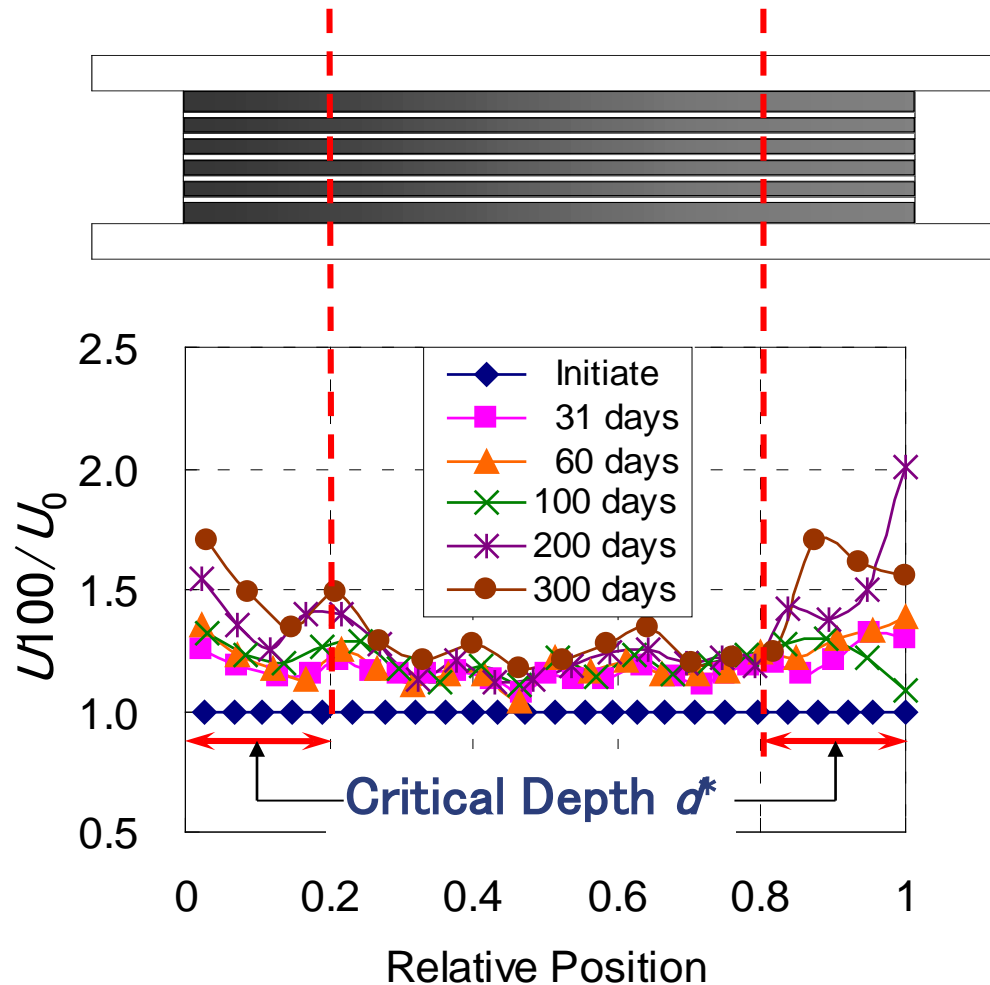
拡散酸素濃度



U100プロファイル

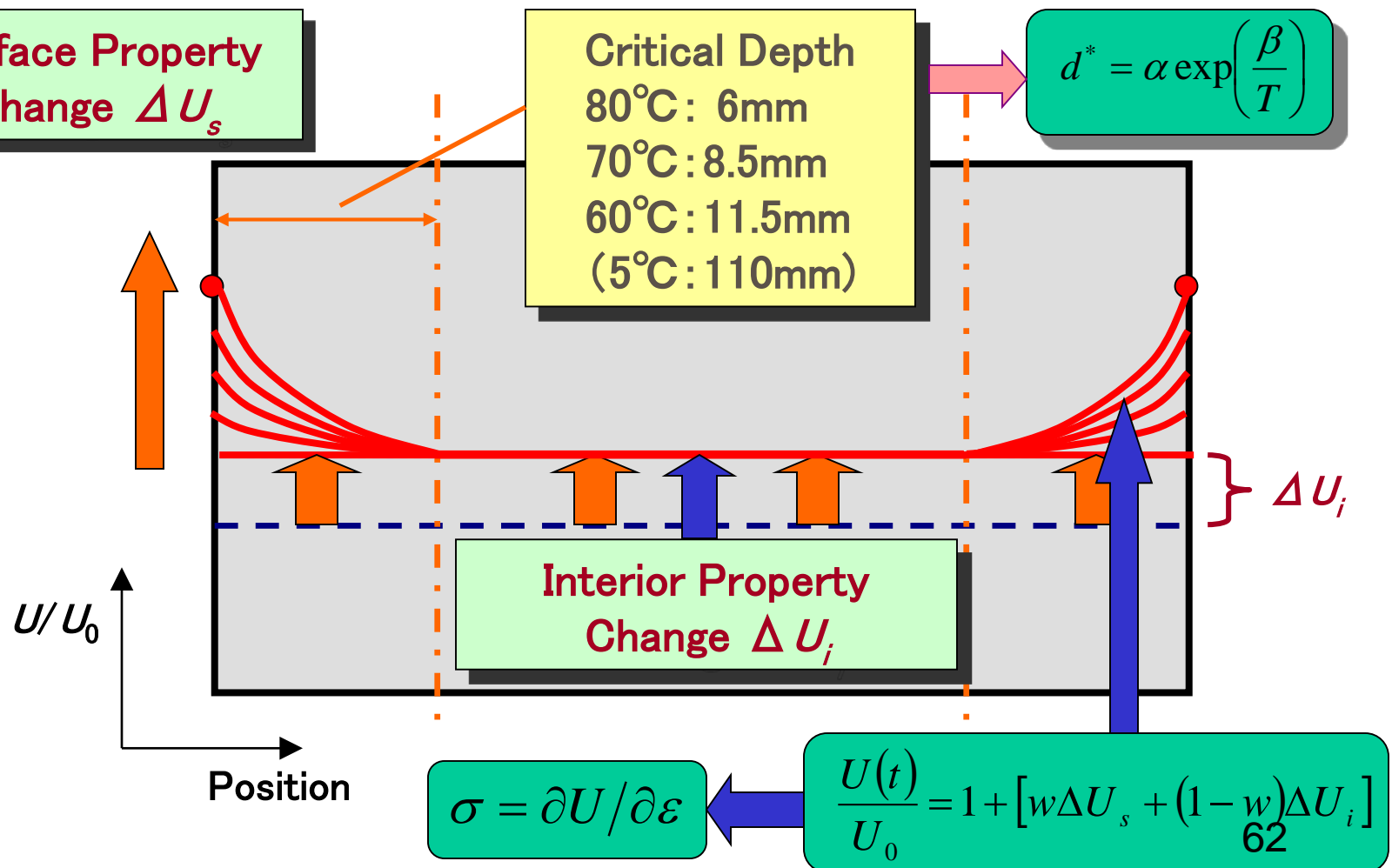


U100の支承内分布(高減衰ゴム)



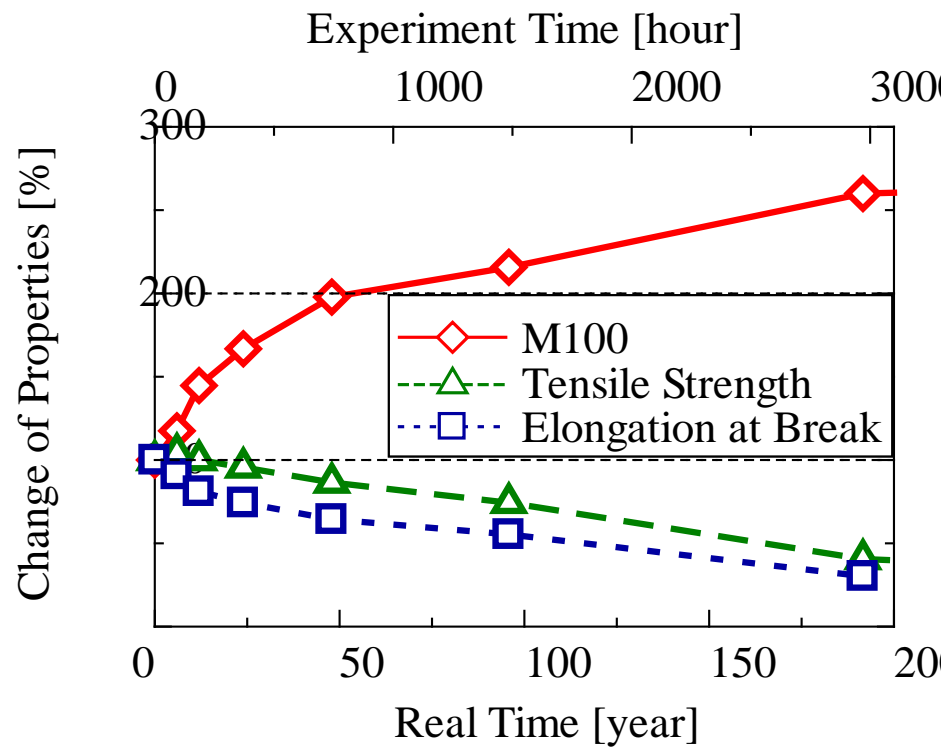
U100 Profile
(HDR, 70°C)

高減衰ゴム支承の内部の劣化特性



アレニウス式の適用

Test Temperature: 70°C



$$\ln\left(\frac{t_r}{t}\right) = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)$$

Rubber	E_a (J/mol)
NR	9.49×10^4
HDR	9.04×10^4

Deterioration of NR in Tokyo (15.9°C)

劣化予測

** 実環境下での劣化 **

実環境 (温度・時間)

相当時間
(Arrhenius)

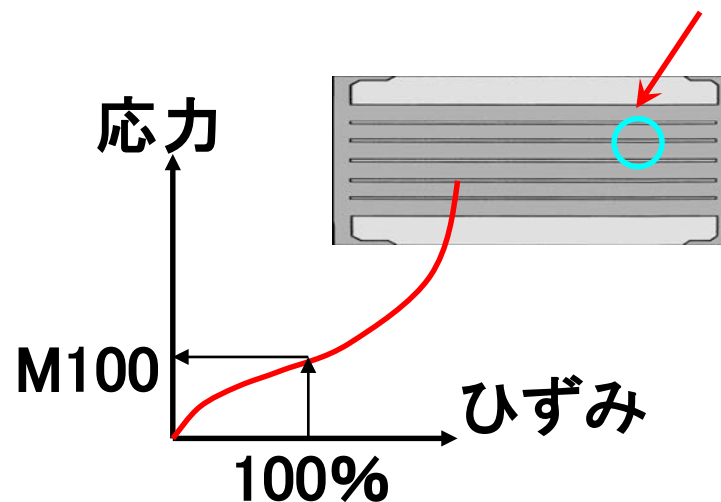
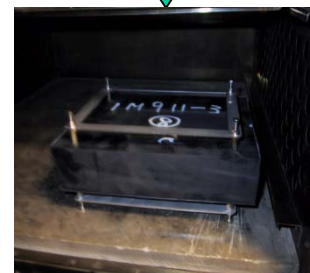
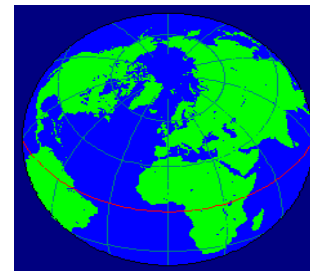
実験データ

予測モデル

応力-ひずみ曲線

物性プロファイル

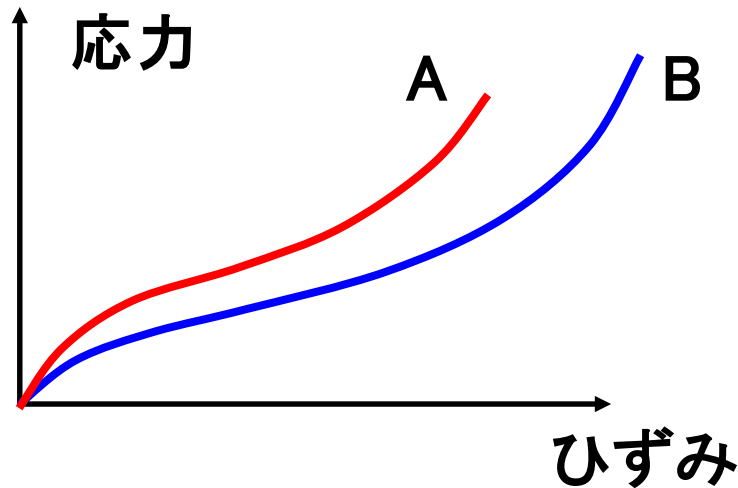
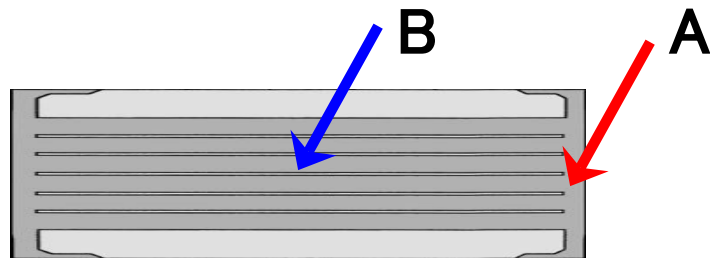
FEM解析



NR支承の性能変化

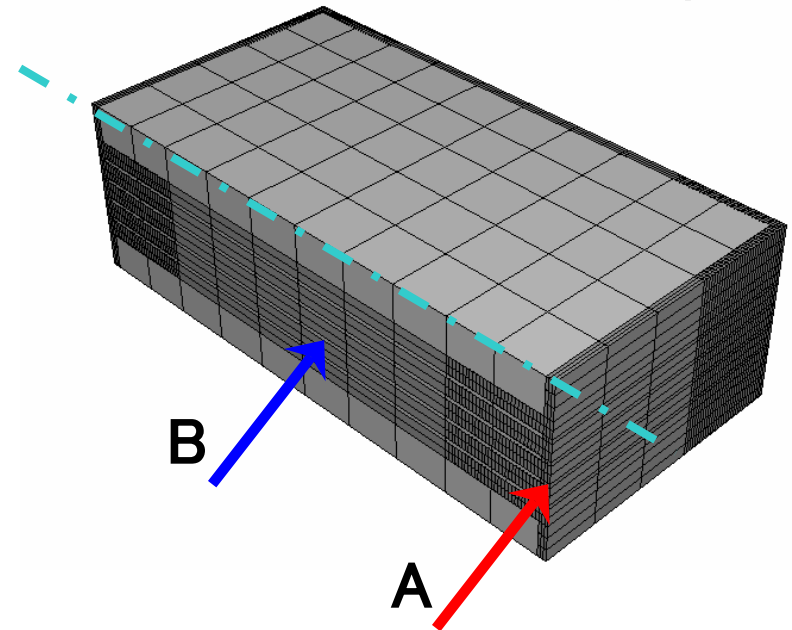
** FEMモデルの作成 **

劣化予測



FEMモデル

※1/2サイズ



材料特性の定義

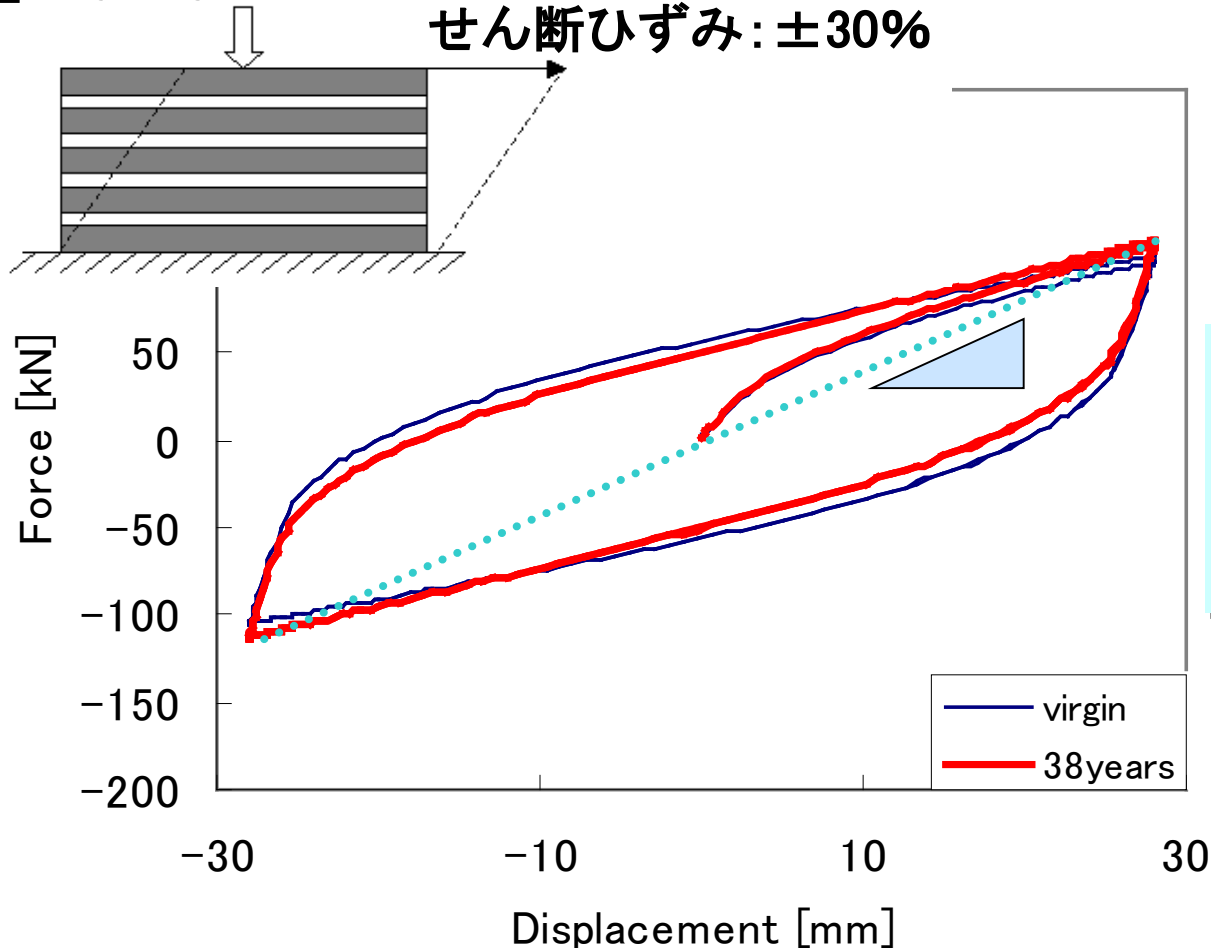
NR支承の性能変化

** Pelham橋NR支承との比較 **

平均気温9.2°C・38年 圧縮せん断試験

面圧: 2.5MPa

せん断ひずみ: $\pm 30\%$

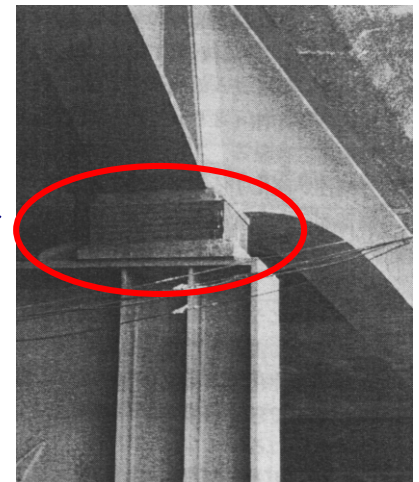
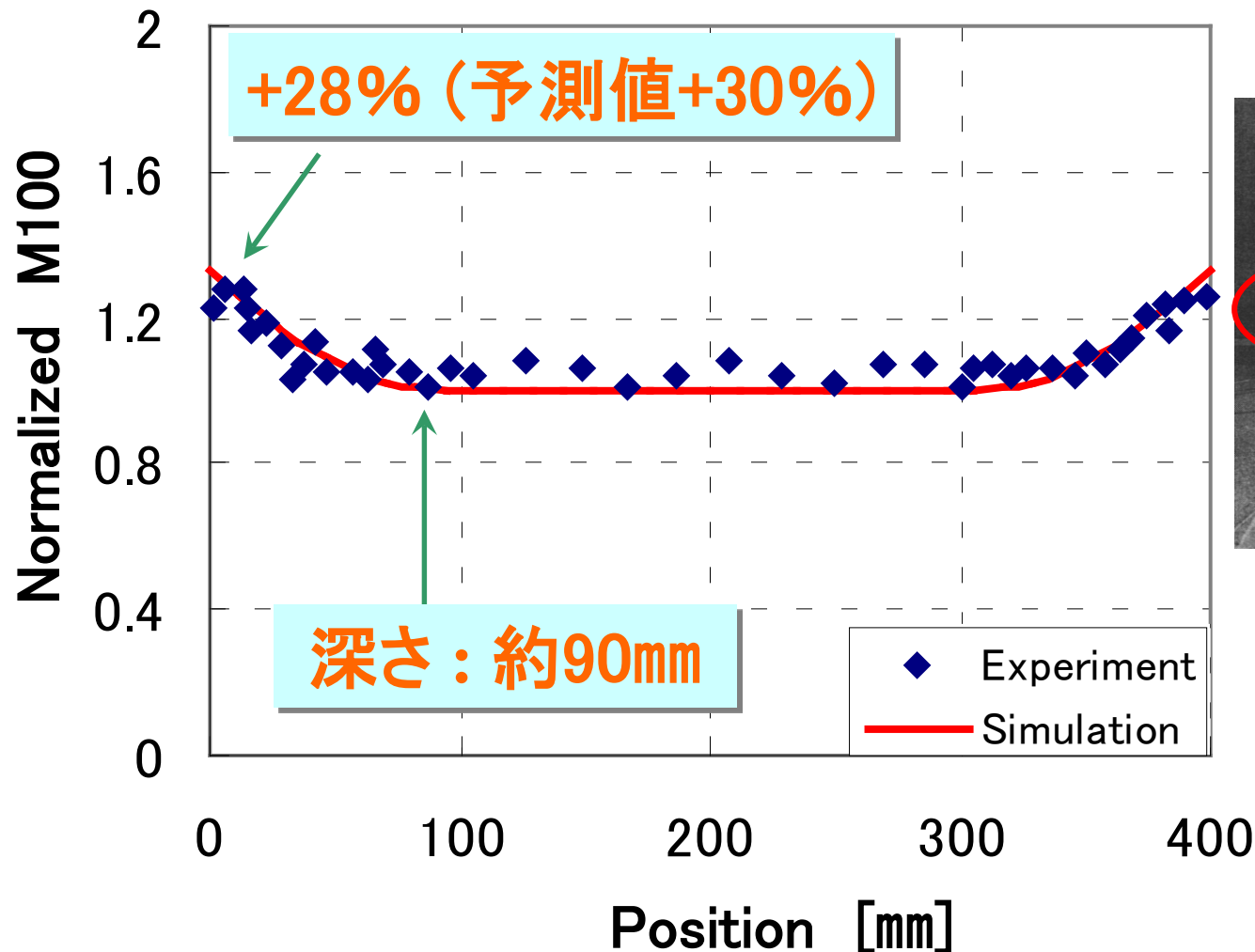


等価水平剛性:
+10%(実測)
+8.0%(予測)

予測結果

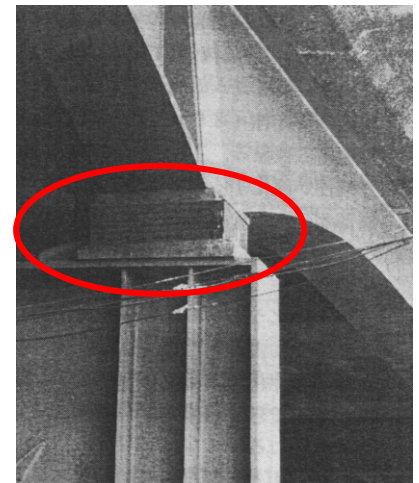
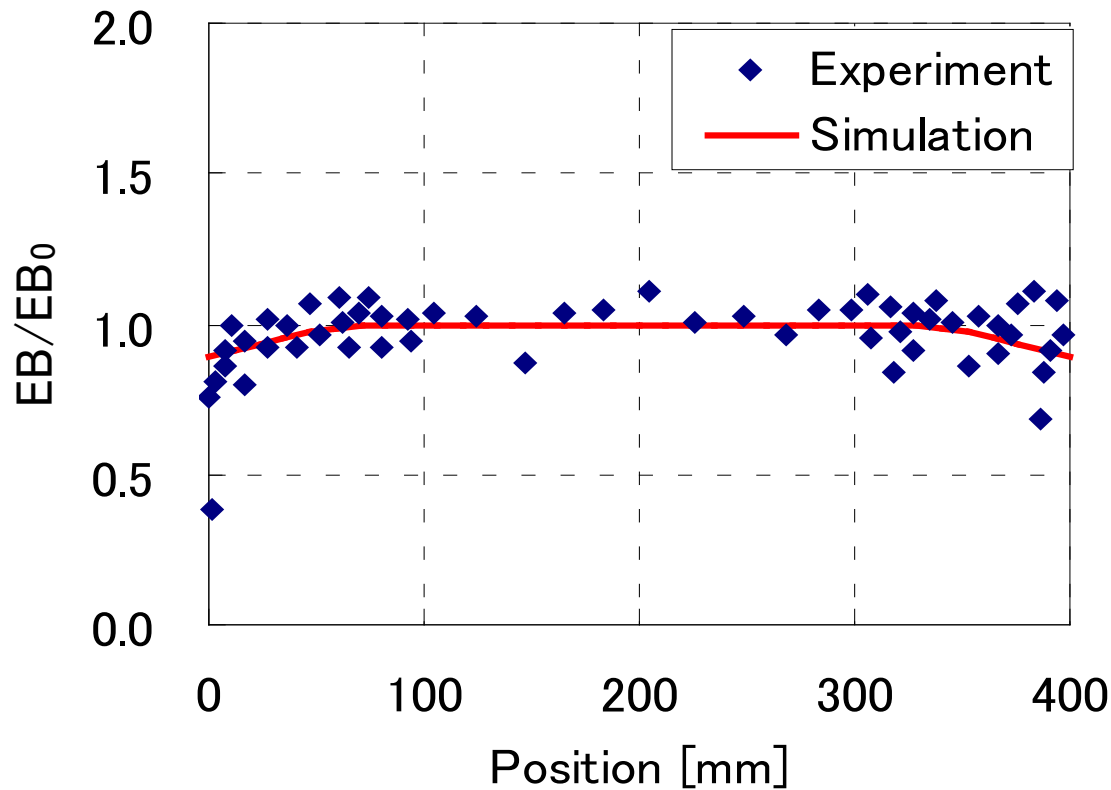
** Pelham橋実測結果との比較 **

平均気温9.2°C・38年 NR支承 M100プロファイル



破断時のび(EB)の比較

Example of Pelham Bridge

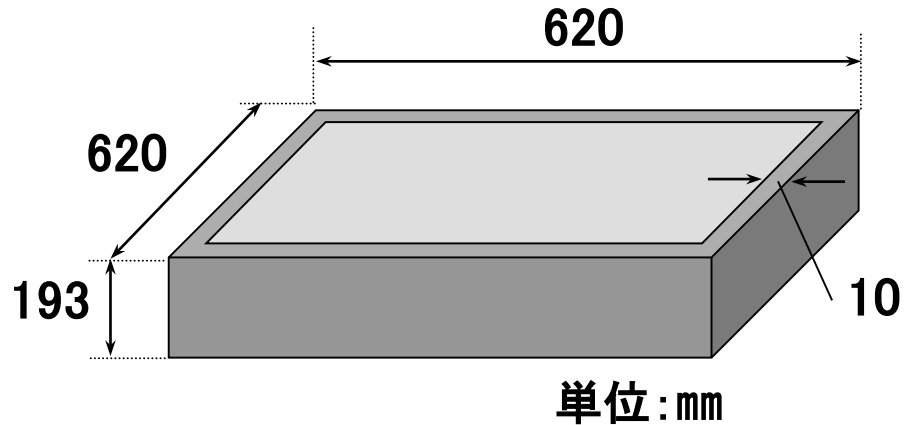


Ave. Temp.: 9.2°C
Lasting: 38 Years

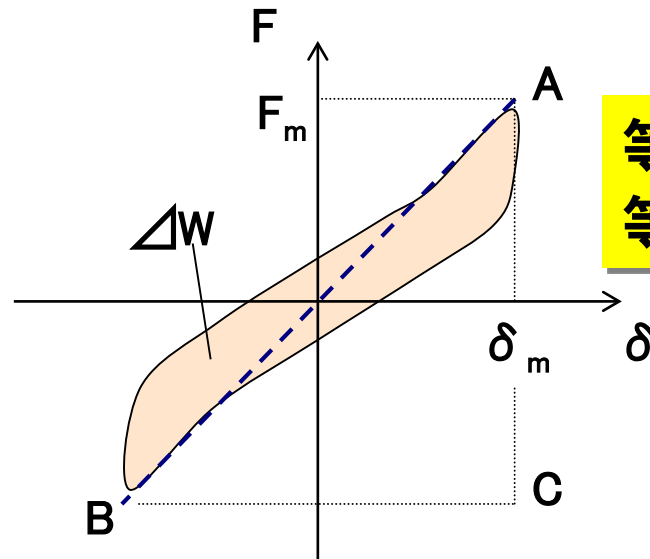
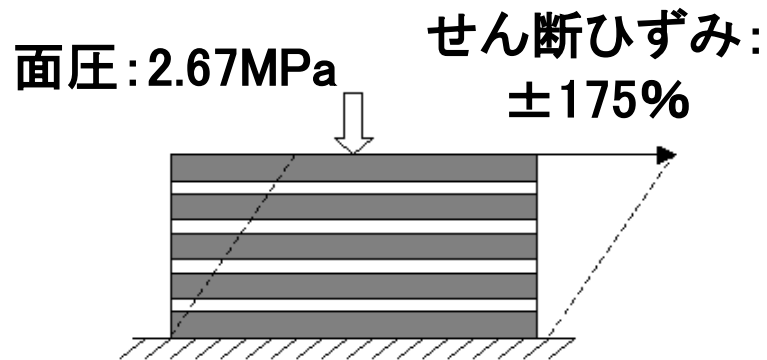
EB Profile in NRB

NR支承の性能変化

**** 温度・時間依存性 ****



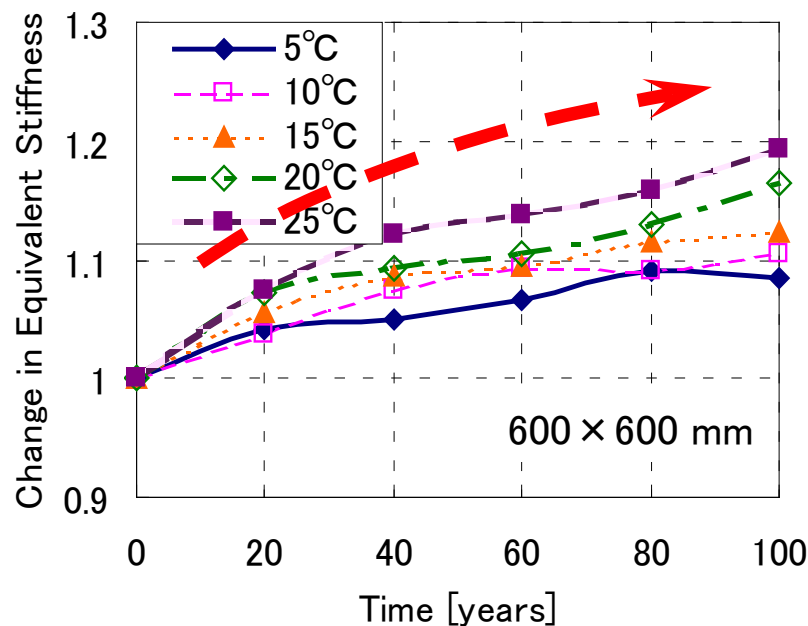
温度: 5, 10, 15, 20, 25 [°C]
時間: 20, 40, 60, 80, 100 [年]



**等価水平剛性
等価減衰定数**

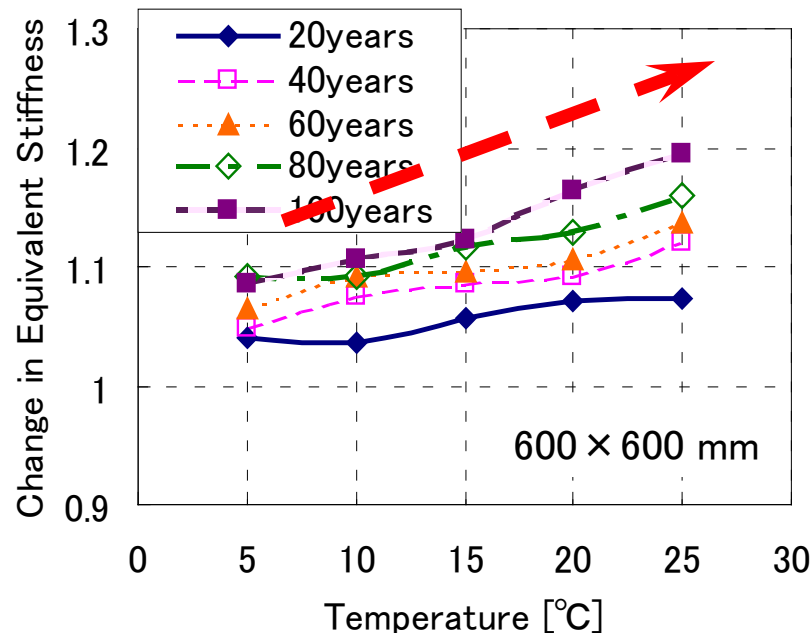
水平剛性の変化 NRB

Time-Dependency



時間と共に増加

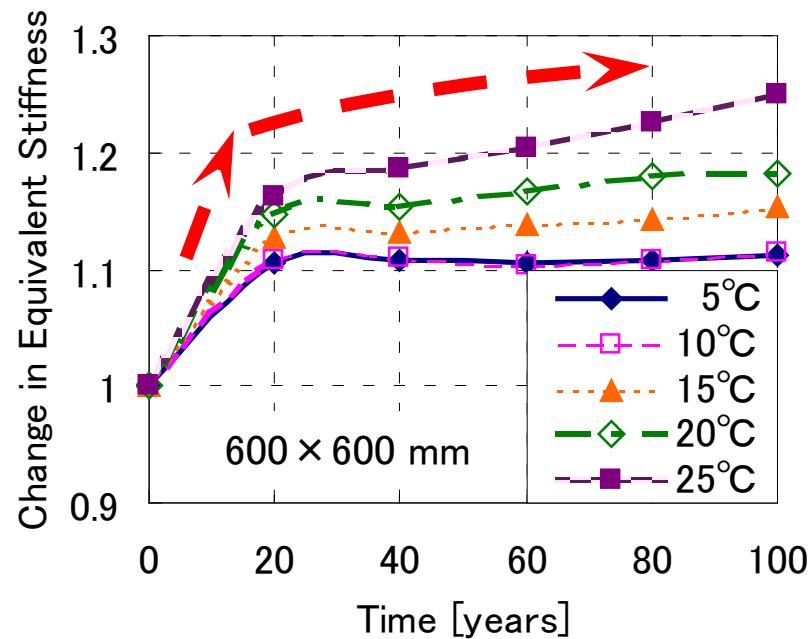
Temperature-Dependency



温度と共に増加

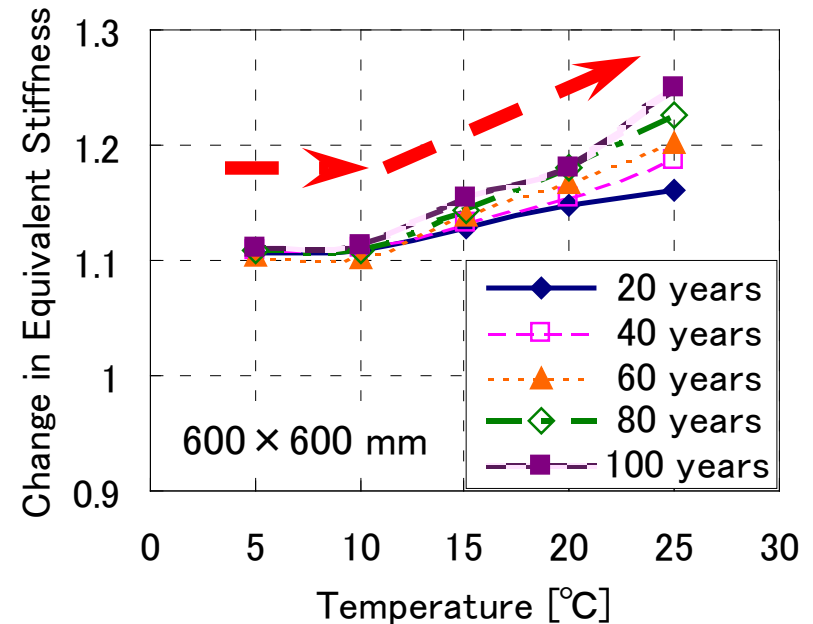
水平剛性の変化 HDRB

Time-Dependency



最初に増加，後は緩やかに

Temperature-Dependency



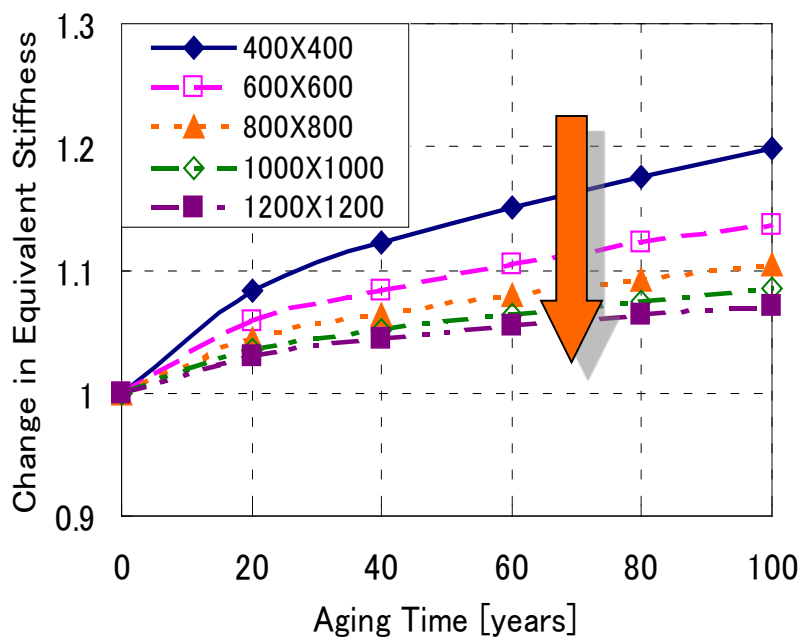
温度と共に増加

支承寸法の効果

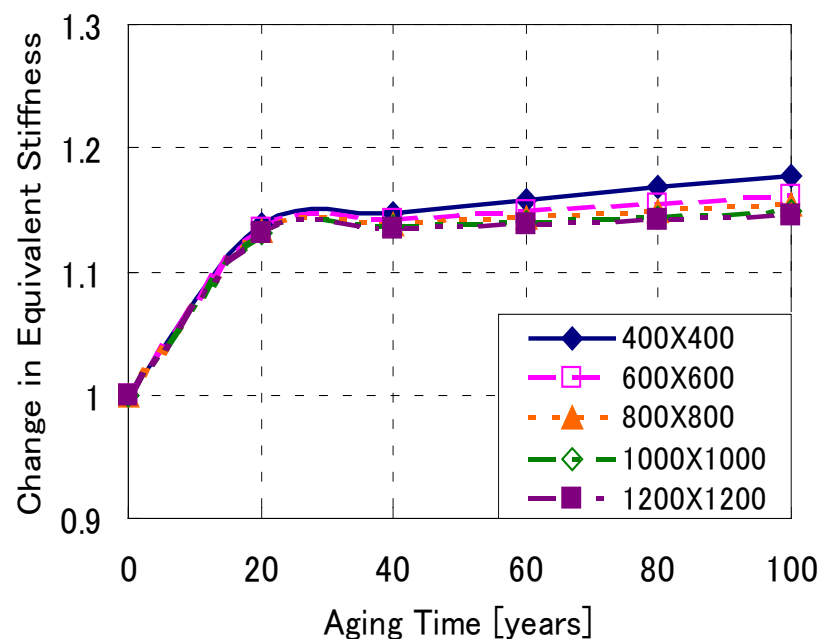
NR Bearing

Nagoya
(15.4°C)

HDR Bearing



大きくなると割合減少



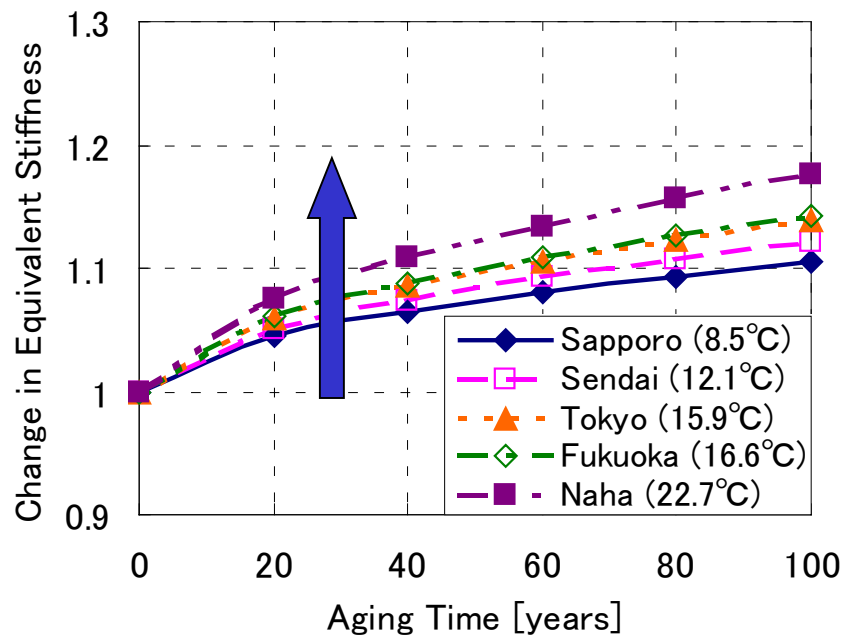
ほとんど変化なし

各地域における劣化特性

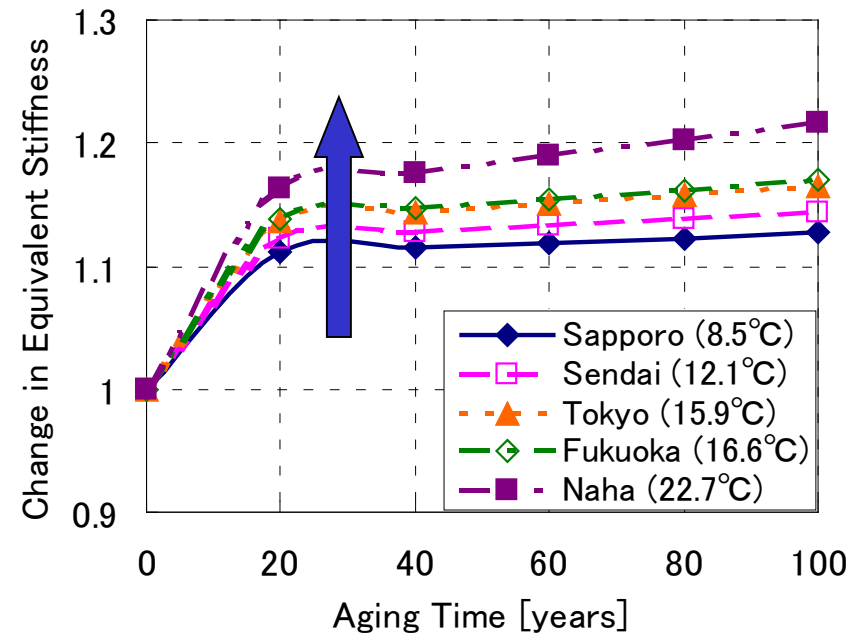
NR Bearing

Size: 600 × 600 mm

HDR Bearing



温度と共に劣化割合増加



温度と共に劣化割合増加

本日の内容

1. 簡単な自己紹介

2. 免震ゴム支承の性能劣化特性

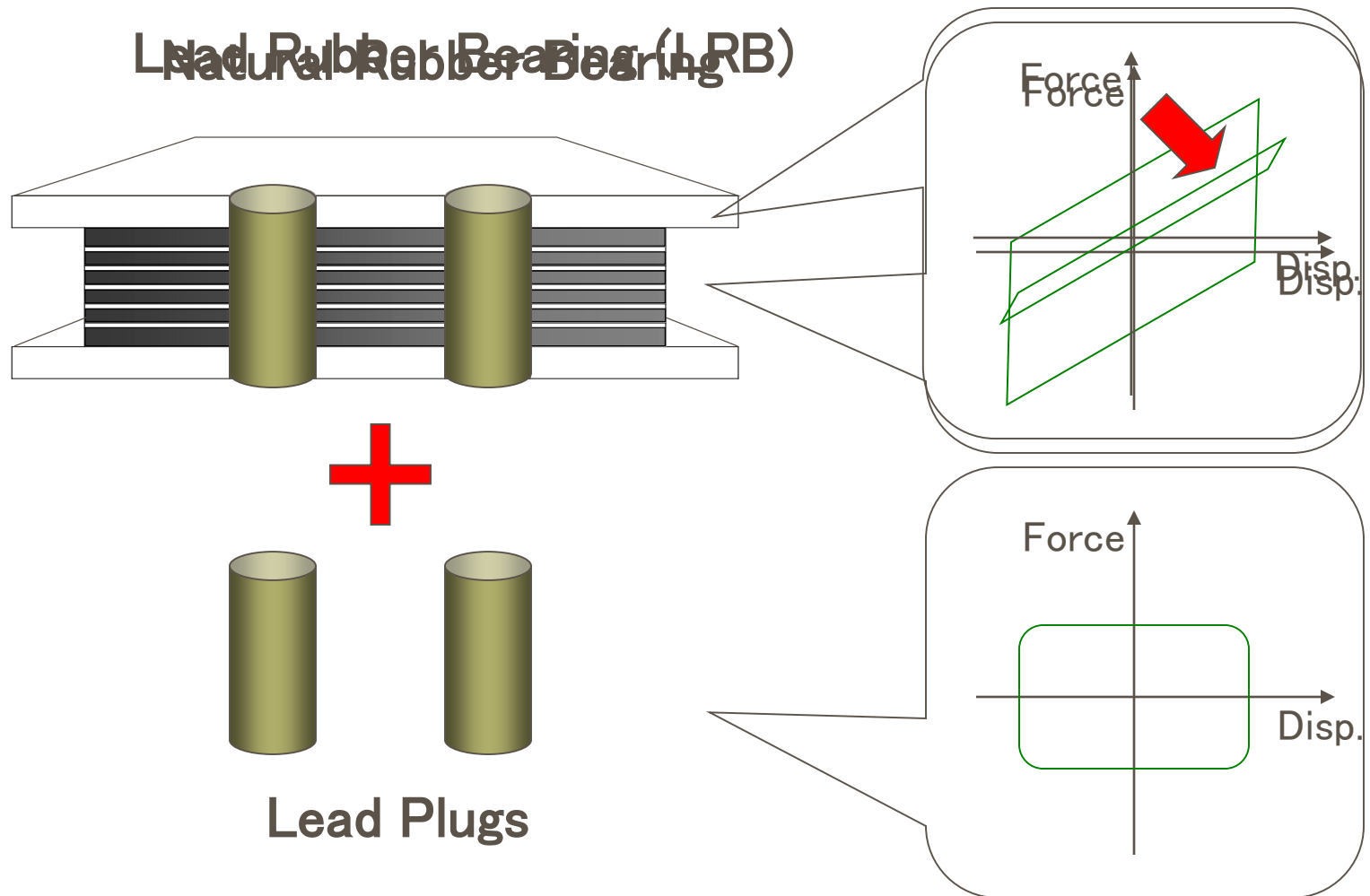
1) 材料レベル

2) 支承レベル

3) 橋梁レベル

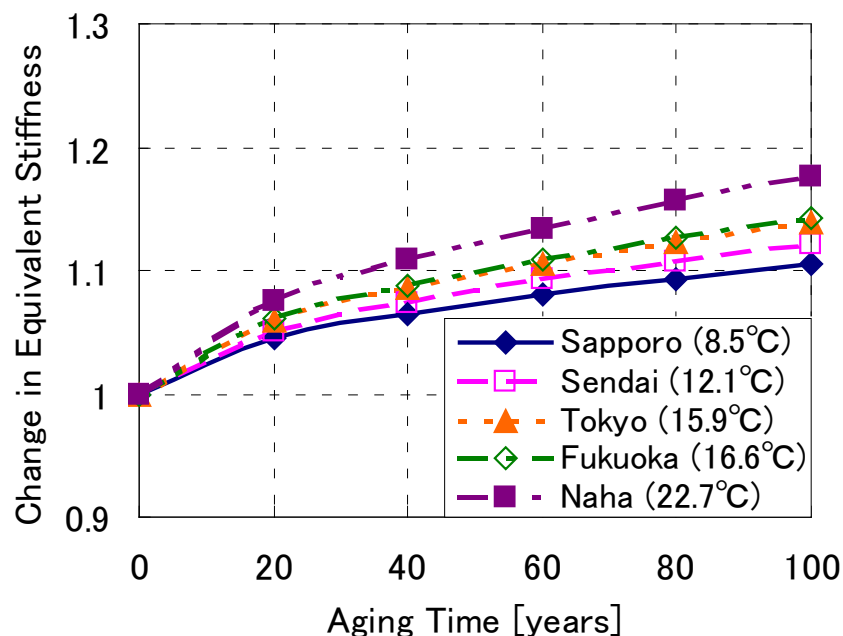
3. 最近の課題

LRB (鉛入り天然ゴム支承)

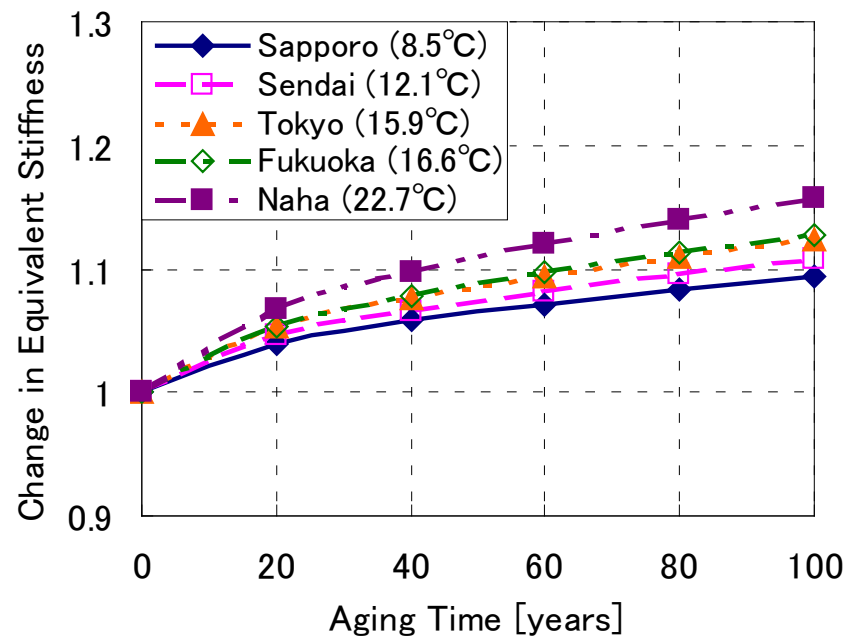


NRB と LRBの劣化特性の比較

Size: 600 × 600 mm; $A_p/A_e=10\%$; $G_e=1.2\text{MPa}$

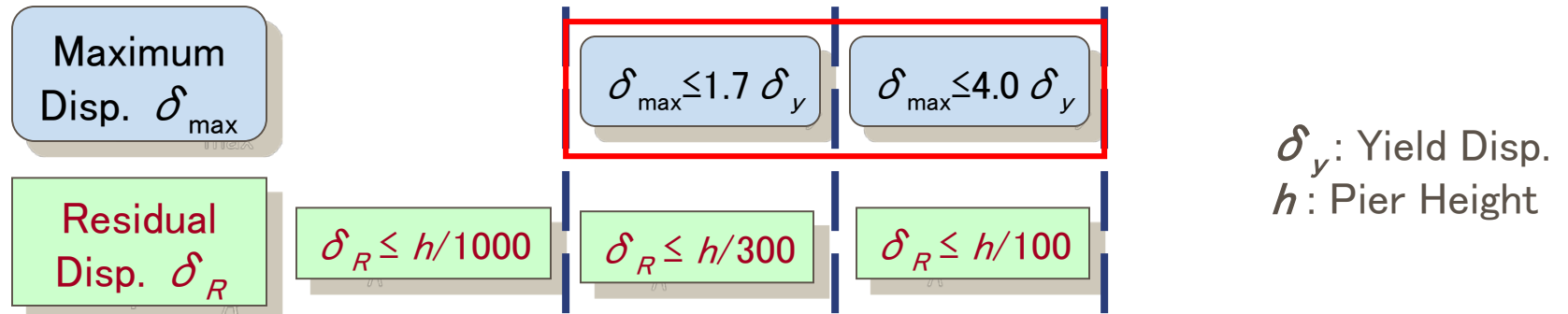





天然ゴム支承



鉛入り天然ゴム支承

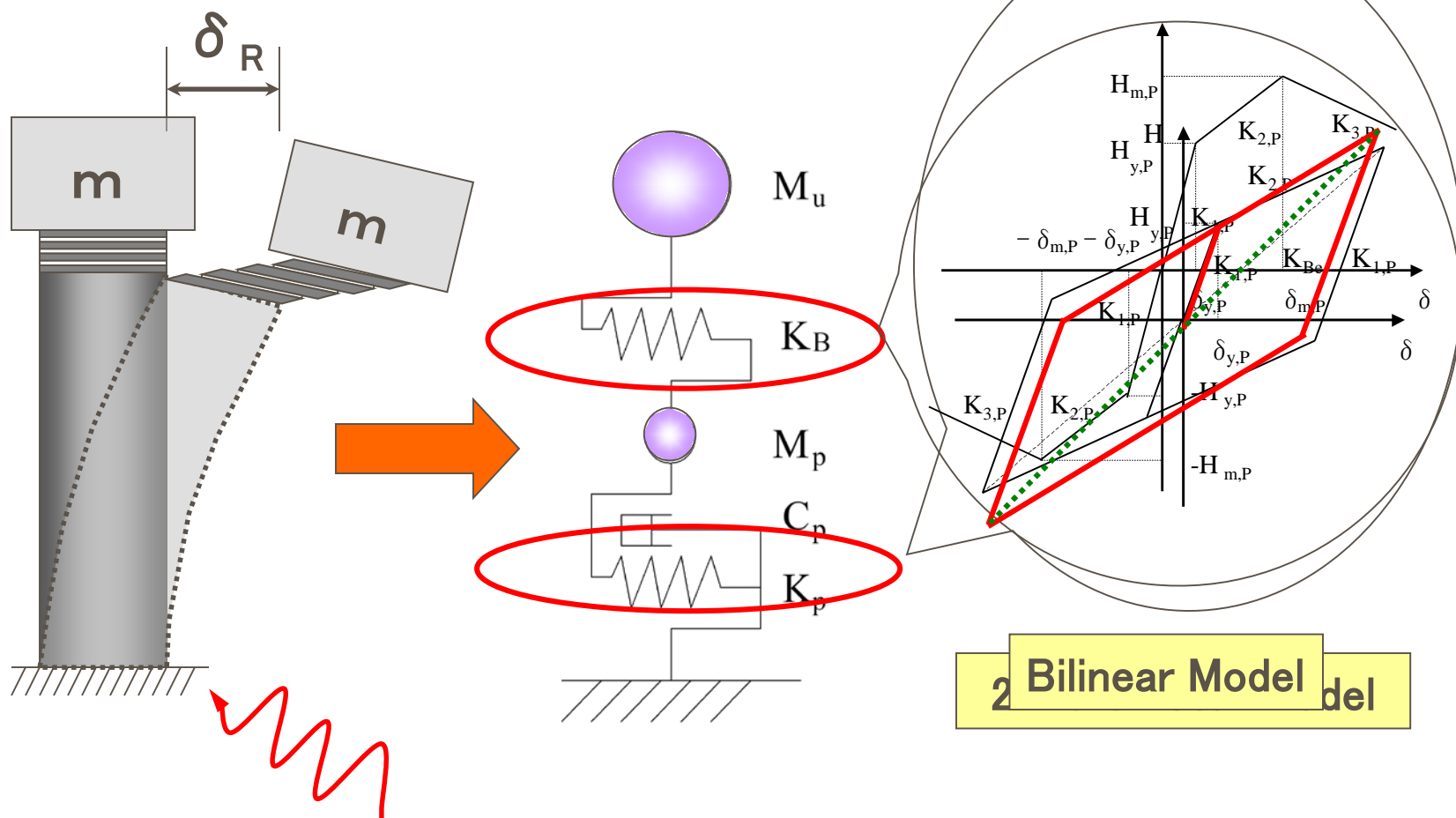
耐震要求マトリックス (JSSC)



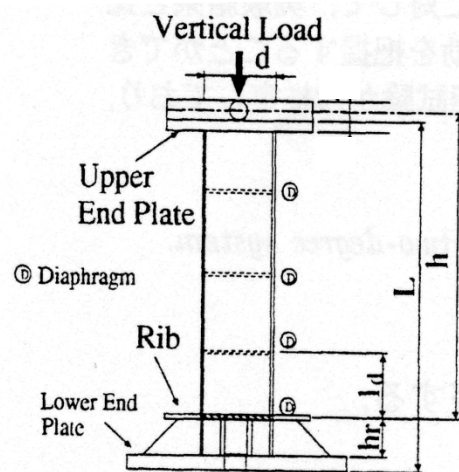
Capacity Level	D	C	B	A	A _s
	No Damage	Small Damage	Medium Damage	Large Damage	Collapse
Level 1	  	Unallowable			
Level 2					

 Most Important Structure
  Important Structure
  Normal Structure

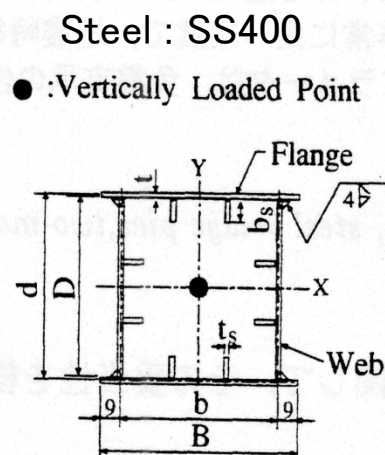
時刻歴解析モデル



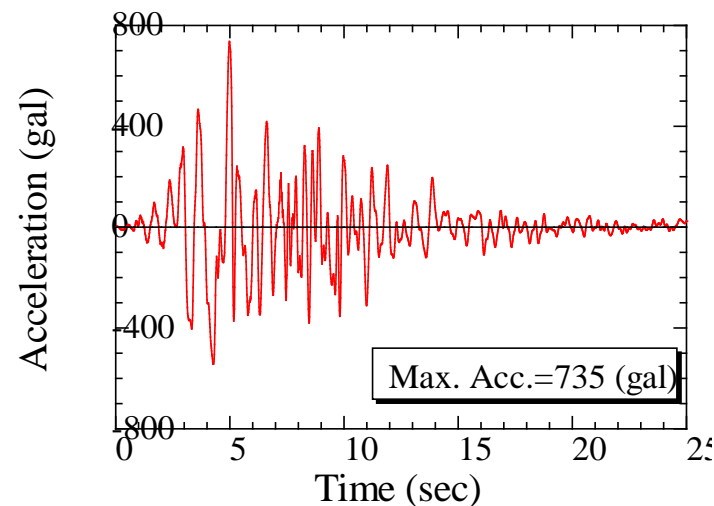
解析事例



(a) Side View of Steel Specimen



(b) Cross Section (Stiffened Box)



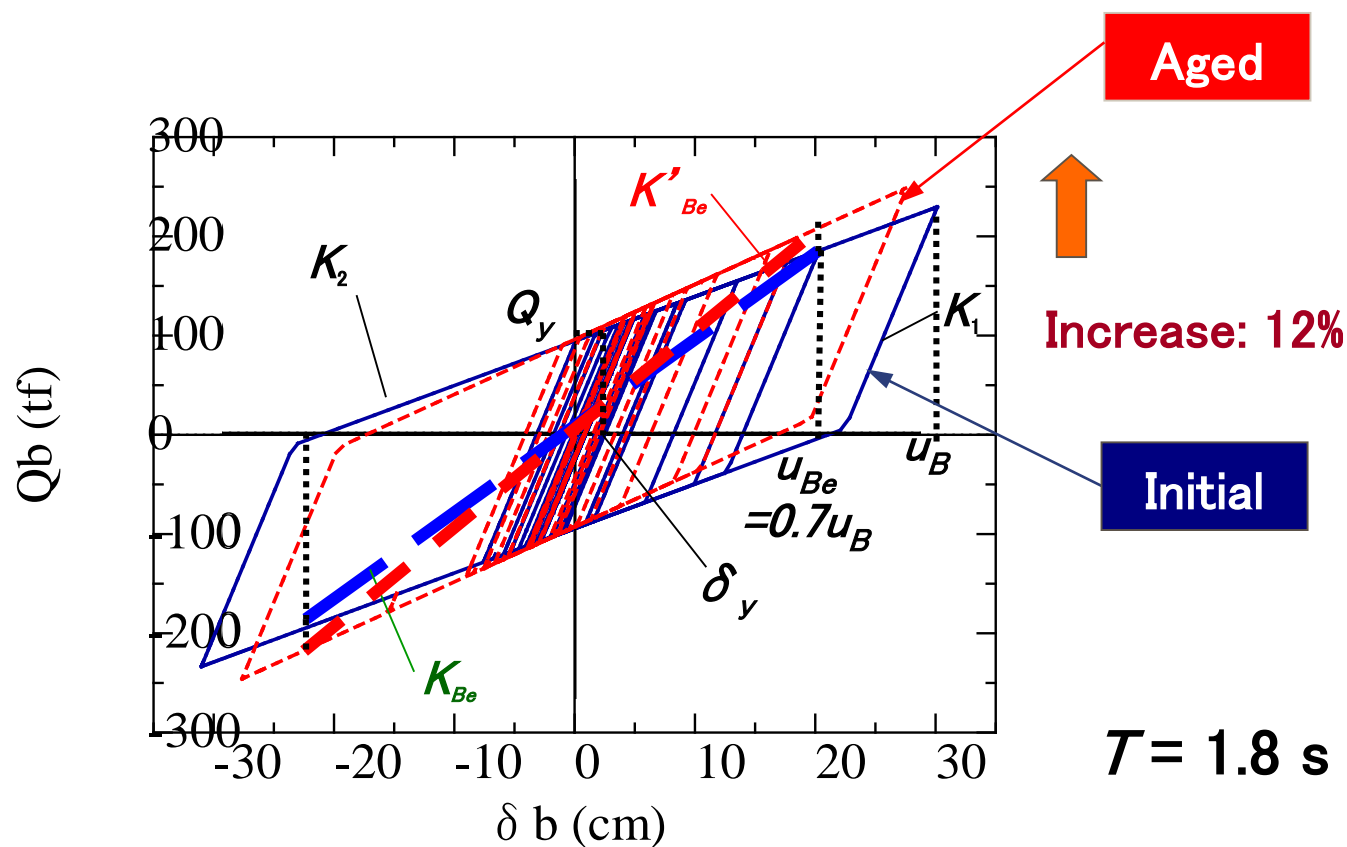
Thin-Walled Stiffened Box Pier

Fukiai-M Earthquake
(Level 2, Type-II, G.T. II)

h (m)	B (m)	D (m)	t (mm)	b_s (mm)	t_s (mm)	r/r^*	H_y (kN)	δ_y (mm)	T (s)	P/P_y	P (kN)	R_f	$\bar{\lambda}$
11.32	1.60	1.56	20	233	20	3.0	1535	55.9	0.9	0.124	5280	0.35	0.40

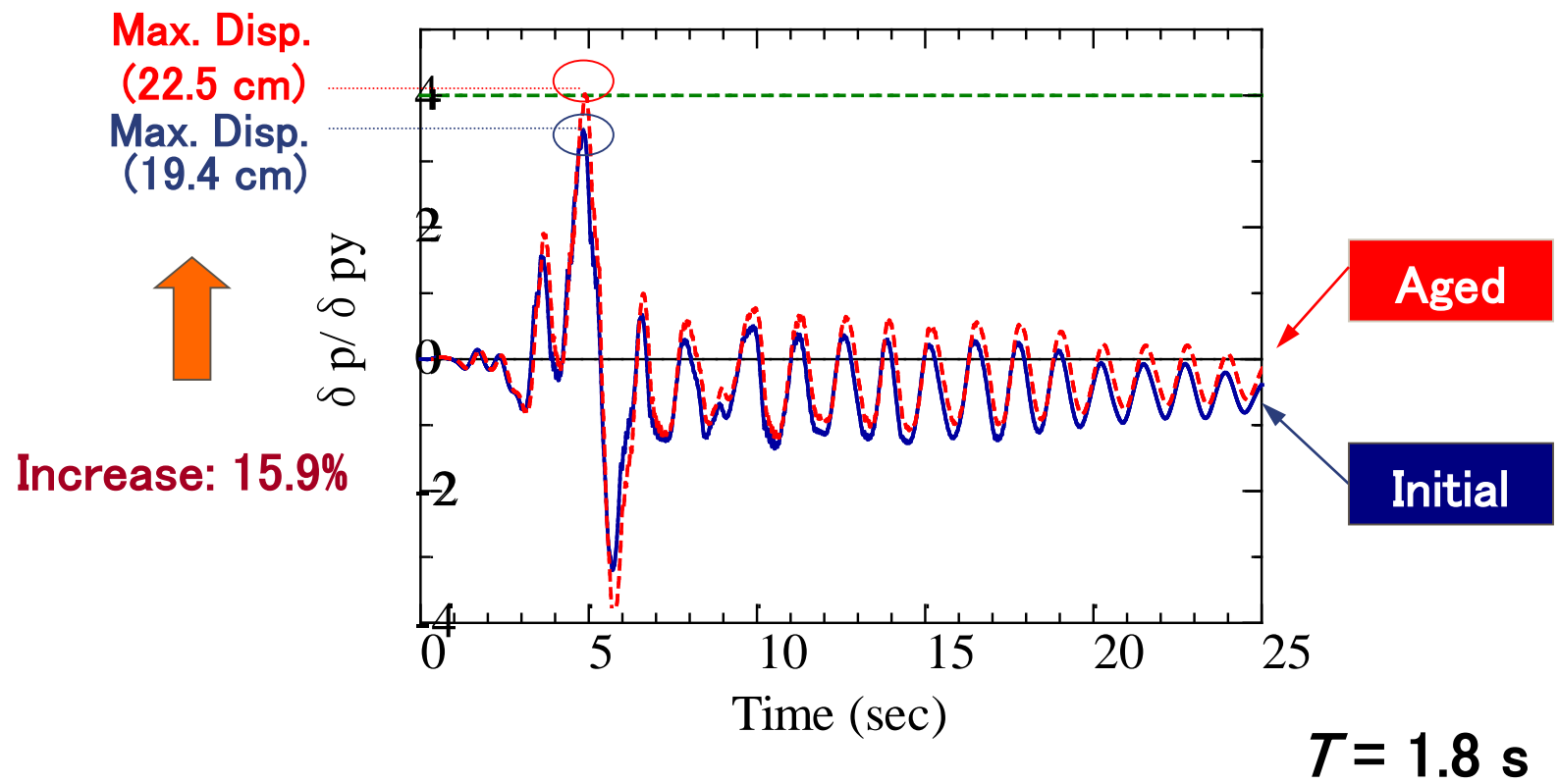
解析例(劣化無と劣化有)

Parameter	
u_B (cm)	31.2
K_{Be} (tf/cm)	8.8
K_1 (tf/cm)	29.1
K_2 (tf/cm)	4.5
Q_y (tf)	111.6
δ_y (cm)	3.8
h_{eq}	0.26



Hysteretic Curve of Rubber Bearing

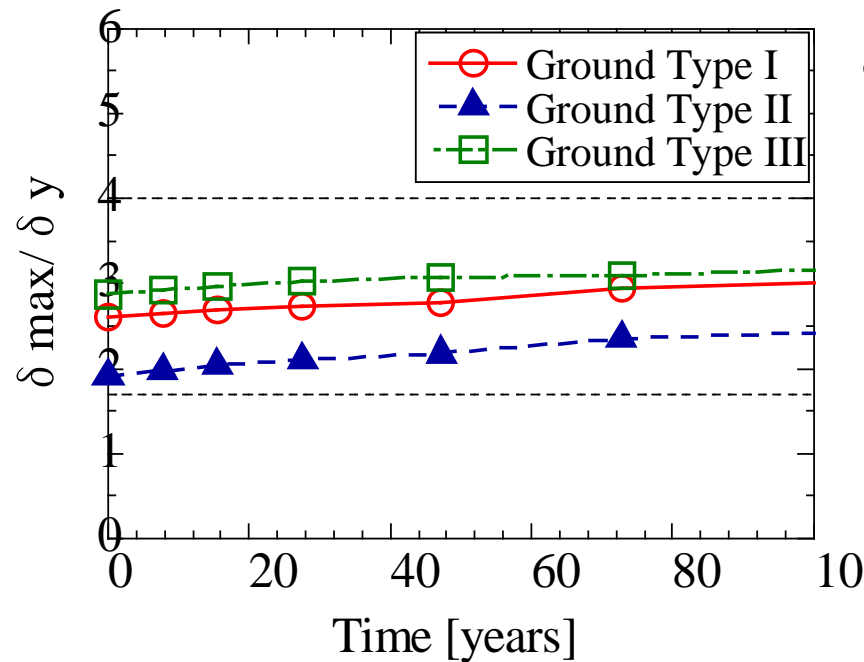
時刻歴解析例



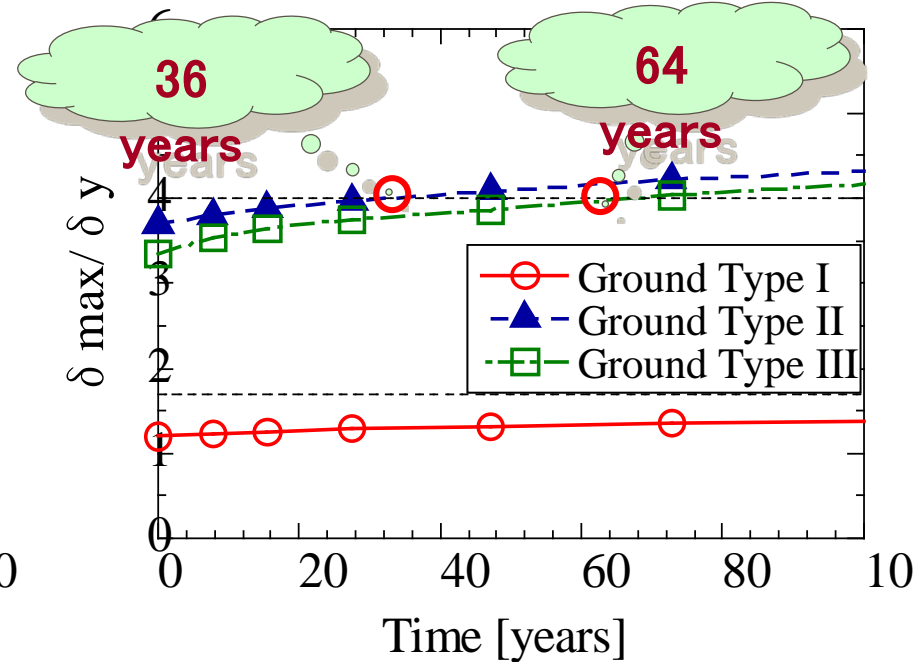
鋼製橋脚の時刻歴変位

鋼製橋脚のライフサイクルの応答

Type-I 地震

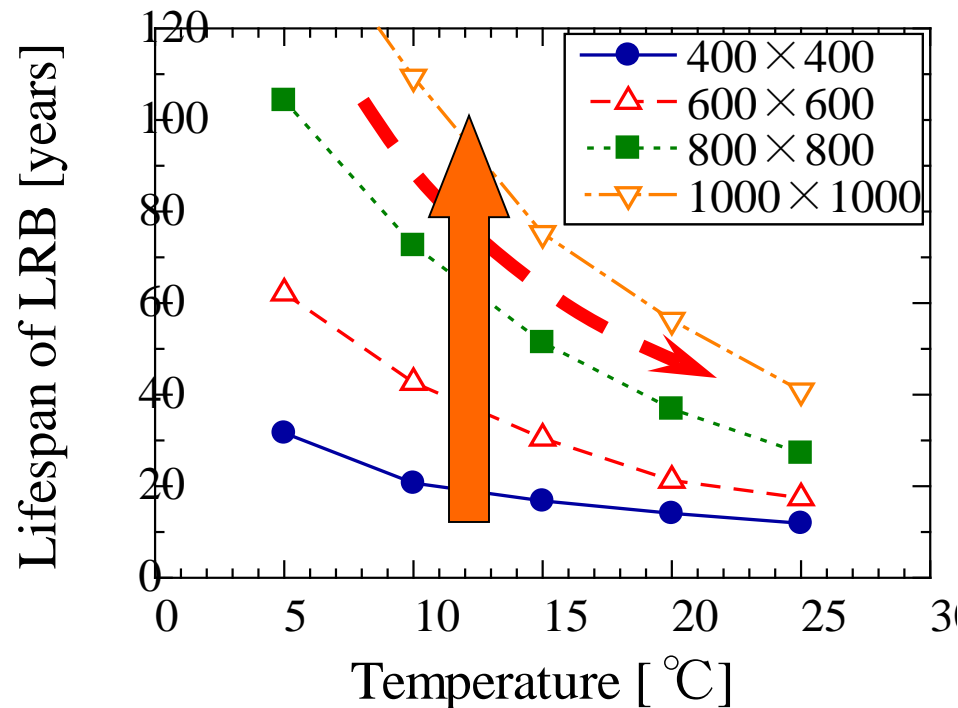


Type-II 地震



Steel Pier: $R_f=0.35$; $\lambda=0.40$; $T=1.80s$
LRB: 600×600 mm; $A_p/A_e=10\%$; $G_e=1.2MPa$

LRBを持つ鋼製橋脚の応答



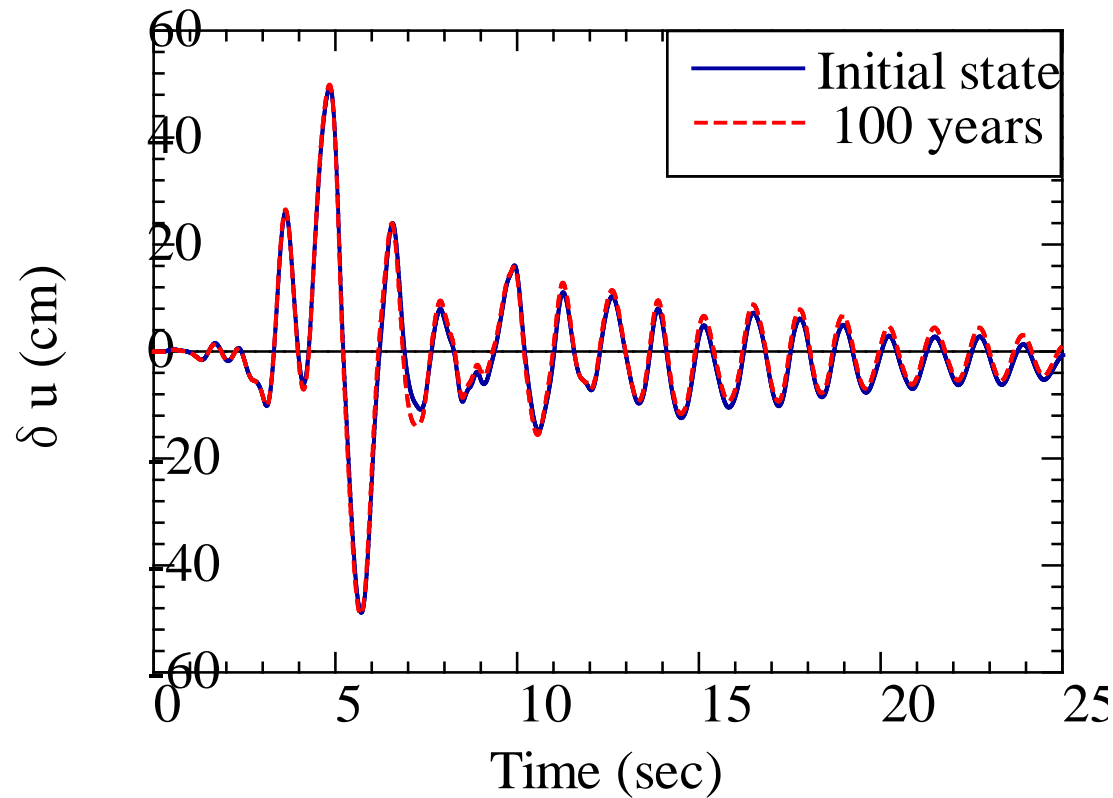
Decrease with Temperature Increase with Size

General Information:
Important Structure
Type-II earthquake
Ground Type II

Pier Information:
 $R_f=0.35$
 $\lambda=0.40$

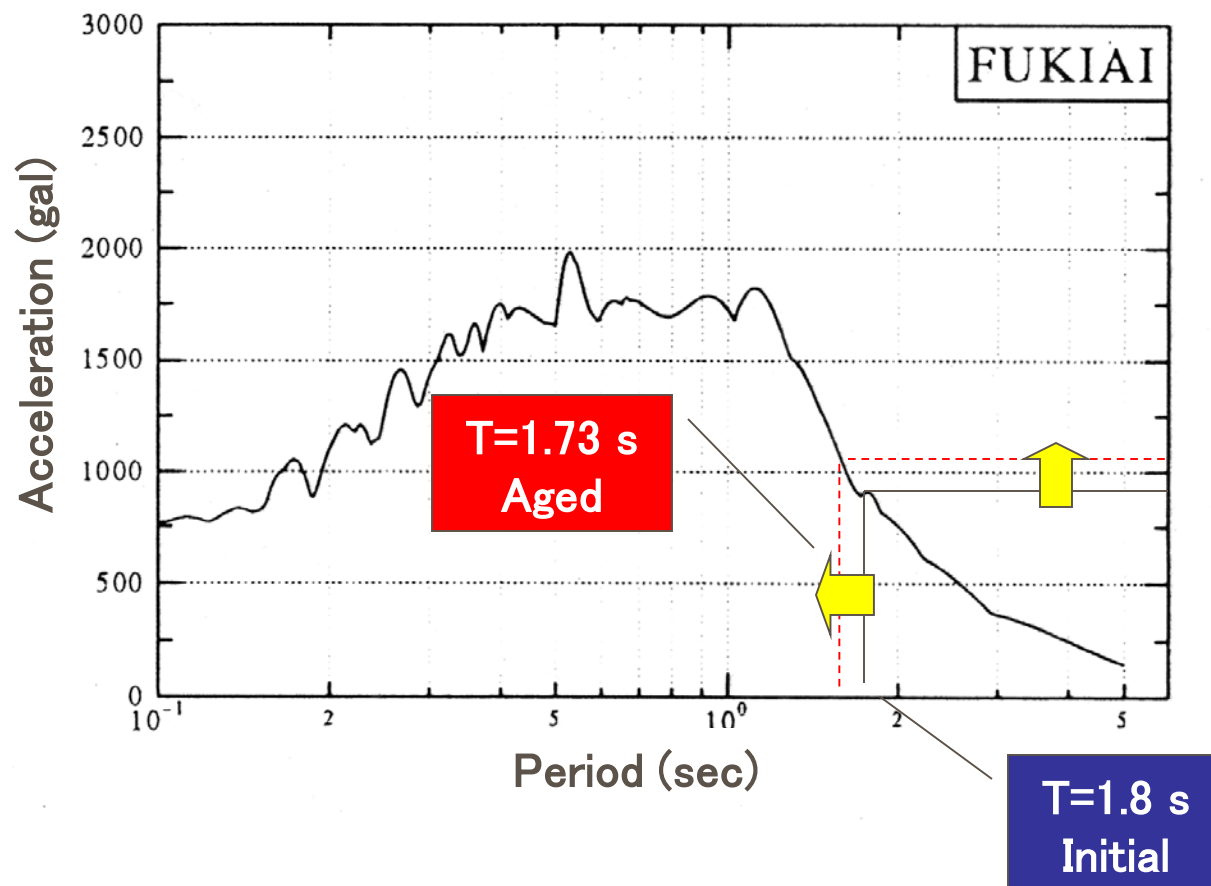
Bearing Information:
 $T=1.80s$
 $A_p/A_e=10\%$
 $G_e=1.2MPa$

100年後の時刻歴応答解析結果

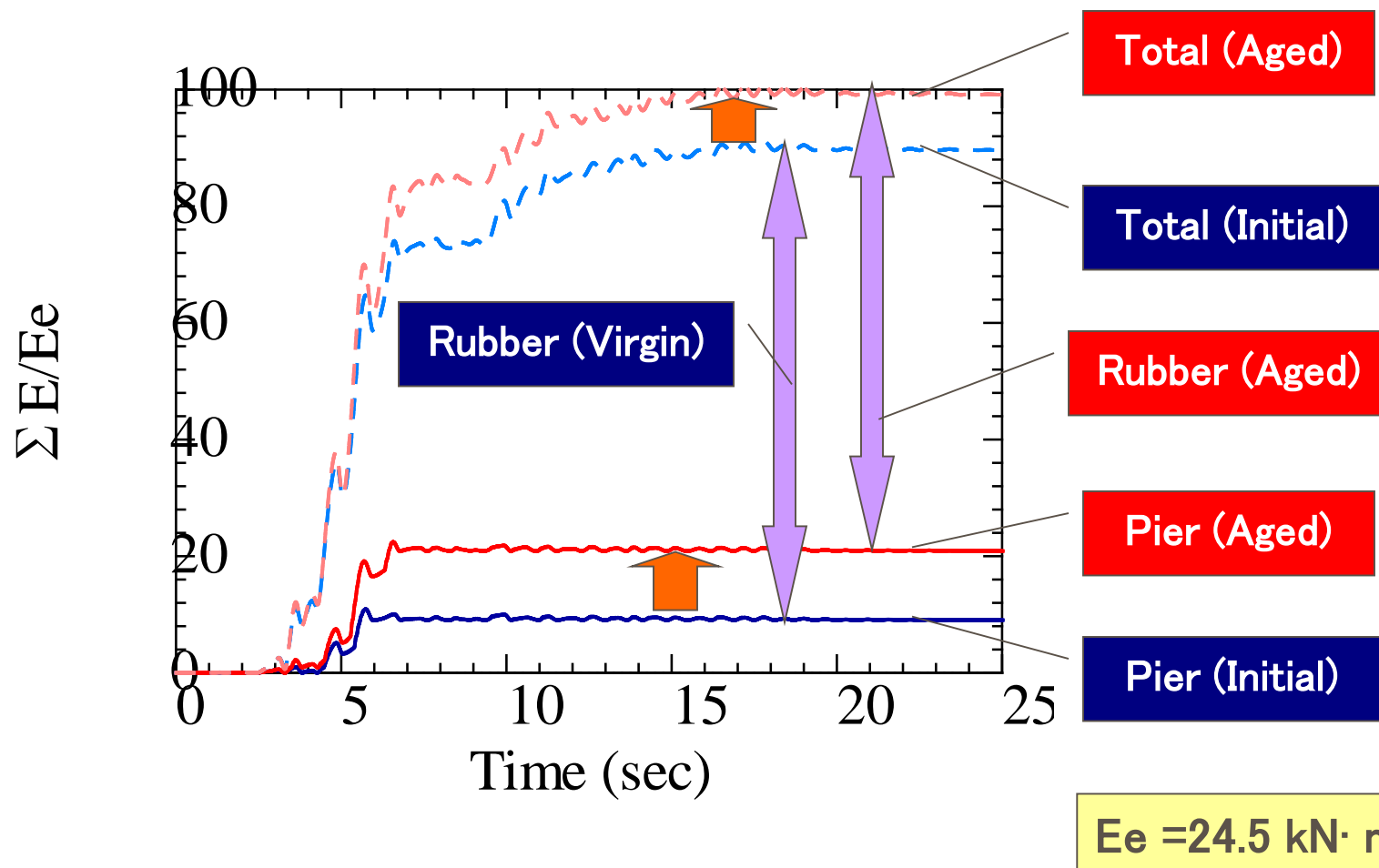


Displacement Response of Superstructure

地震応答スペクトルの変化

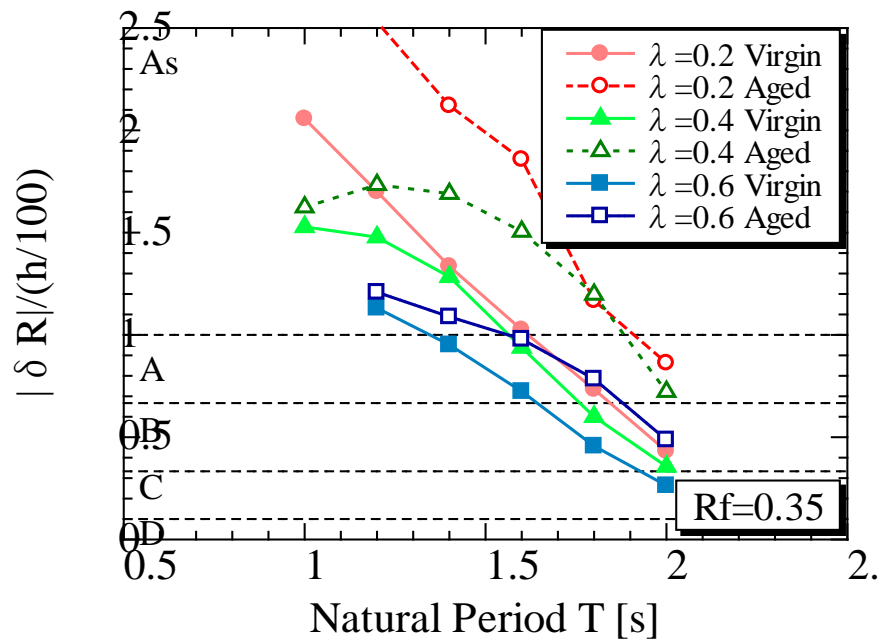


鋼製橋脚のエネルギー吸収変化



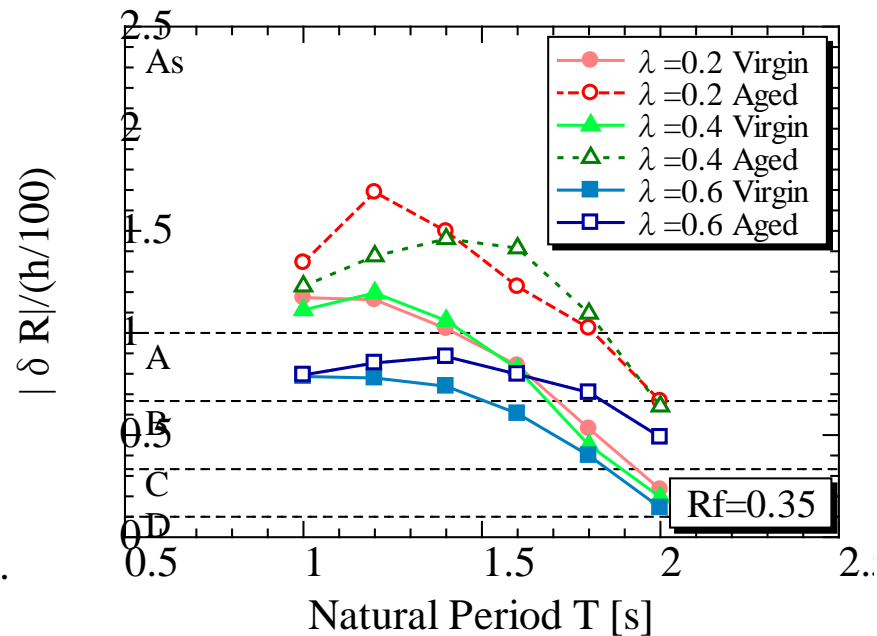
パラメトリック解析

Bearing Stiffness Increase 20%



II種地盤

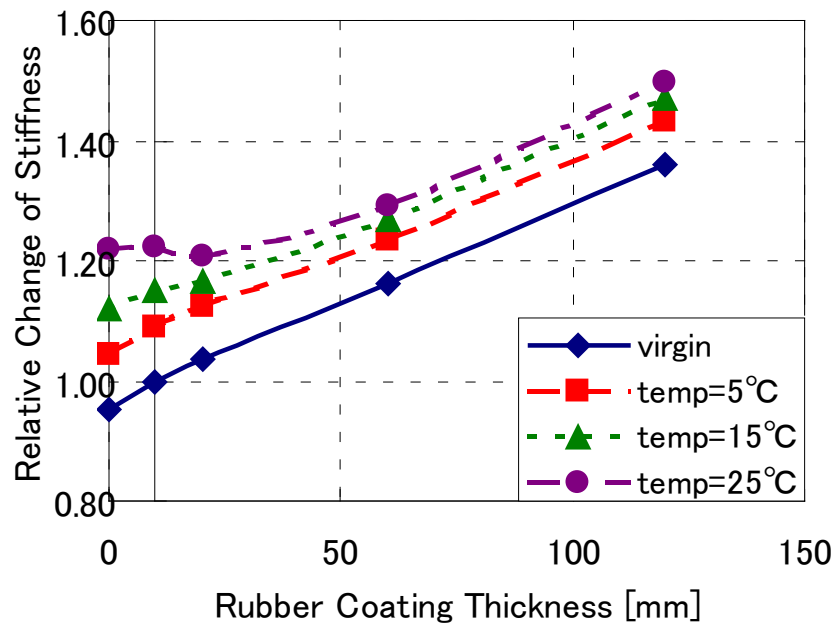
Level 2, Type II, $R_f=0.35$



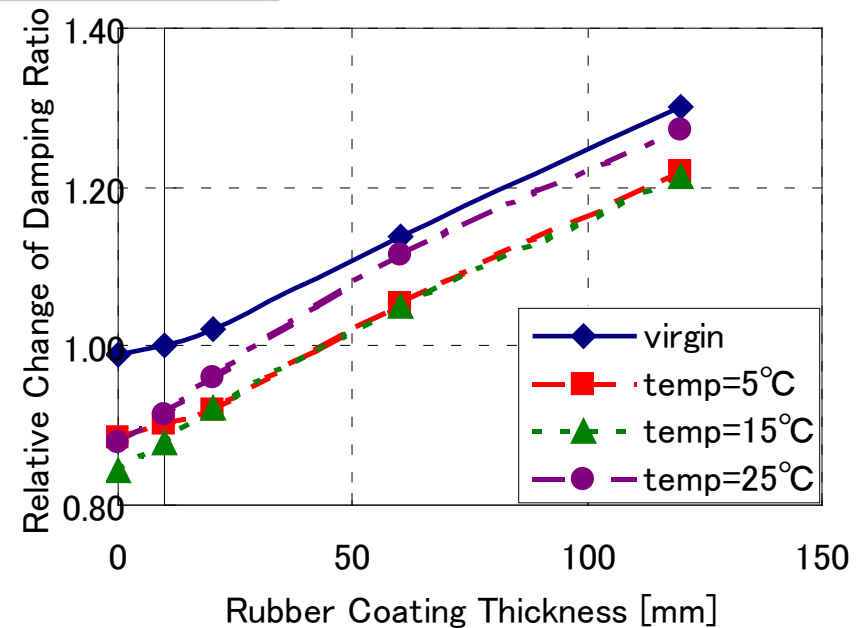
III種地盤

100年後の支承性能

600 × 600, 100 years

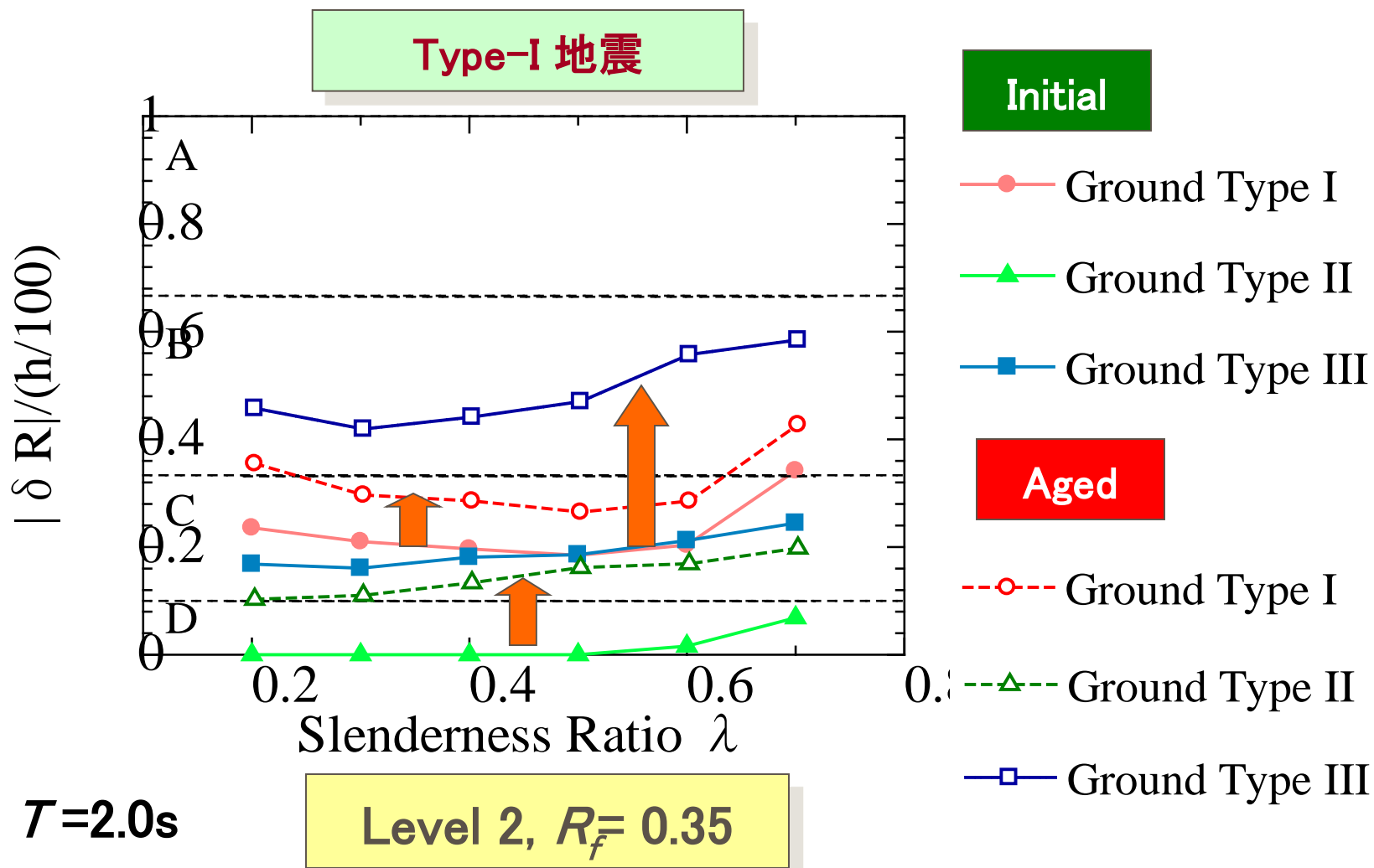


Equivalent Horizontal Stiffness

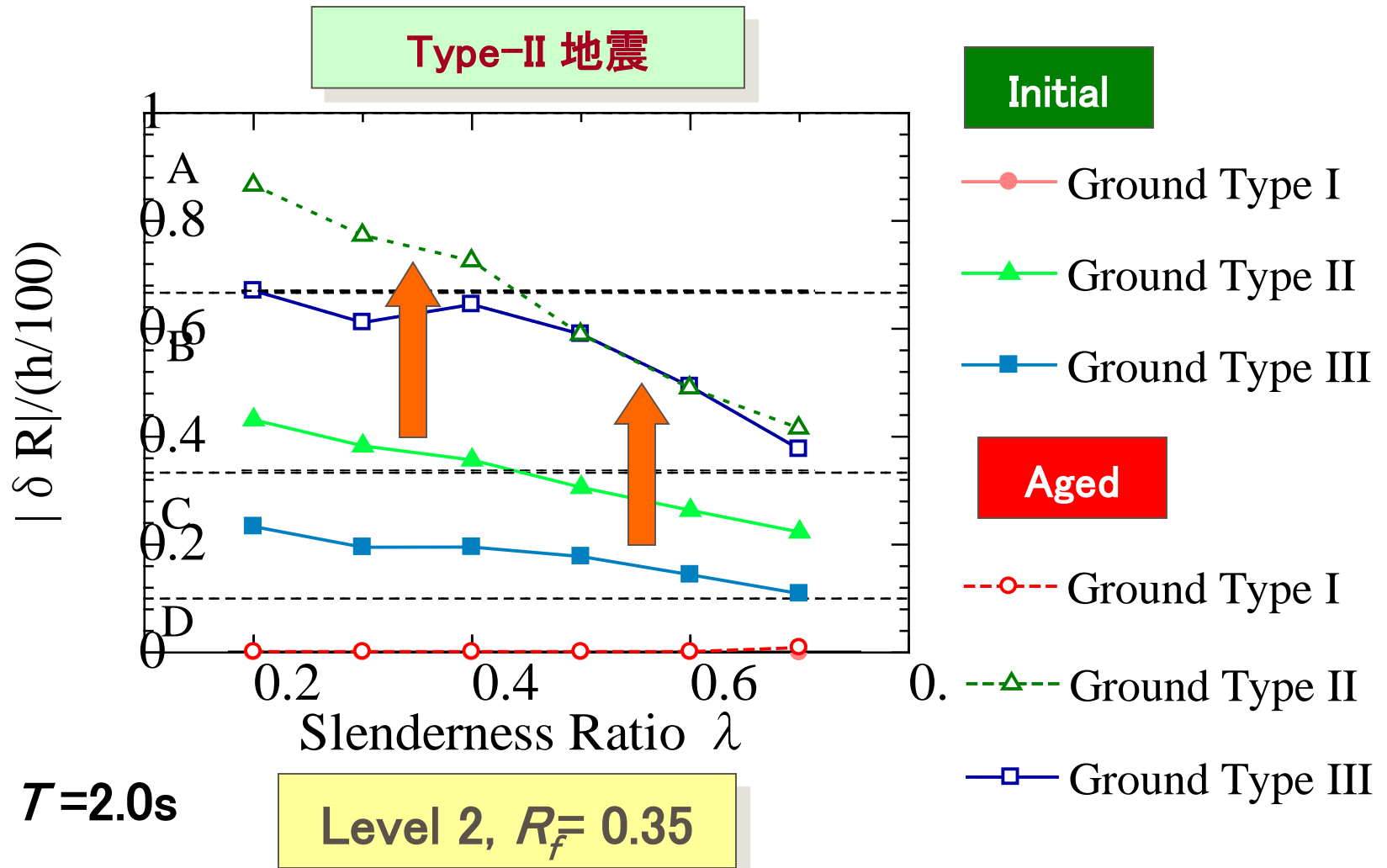


Equivalent Damping Ratio

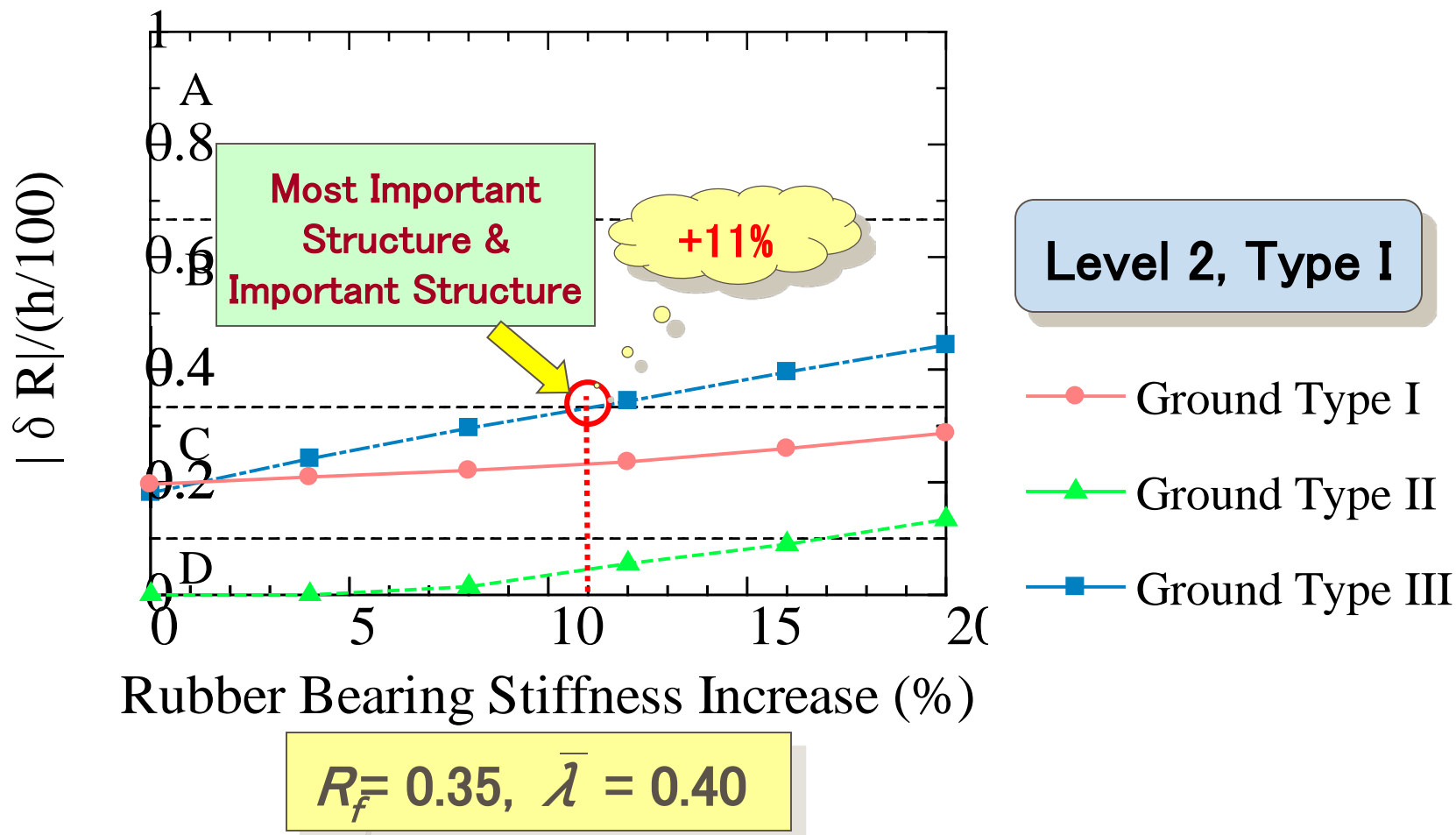
残留変位の変化



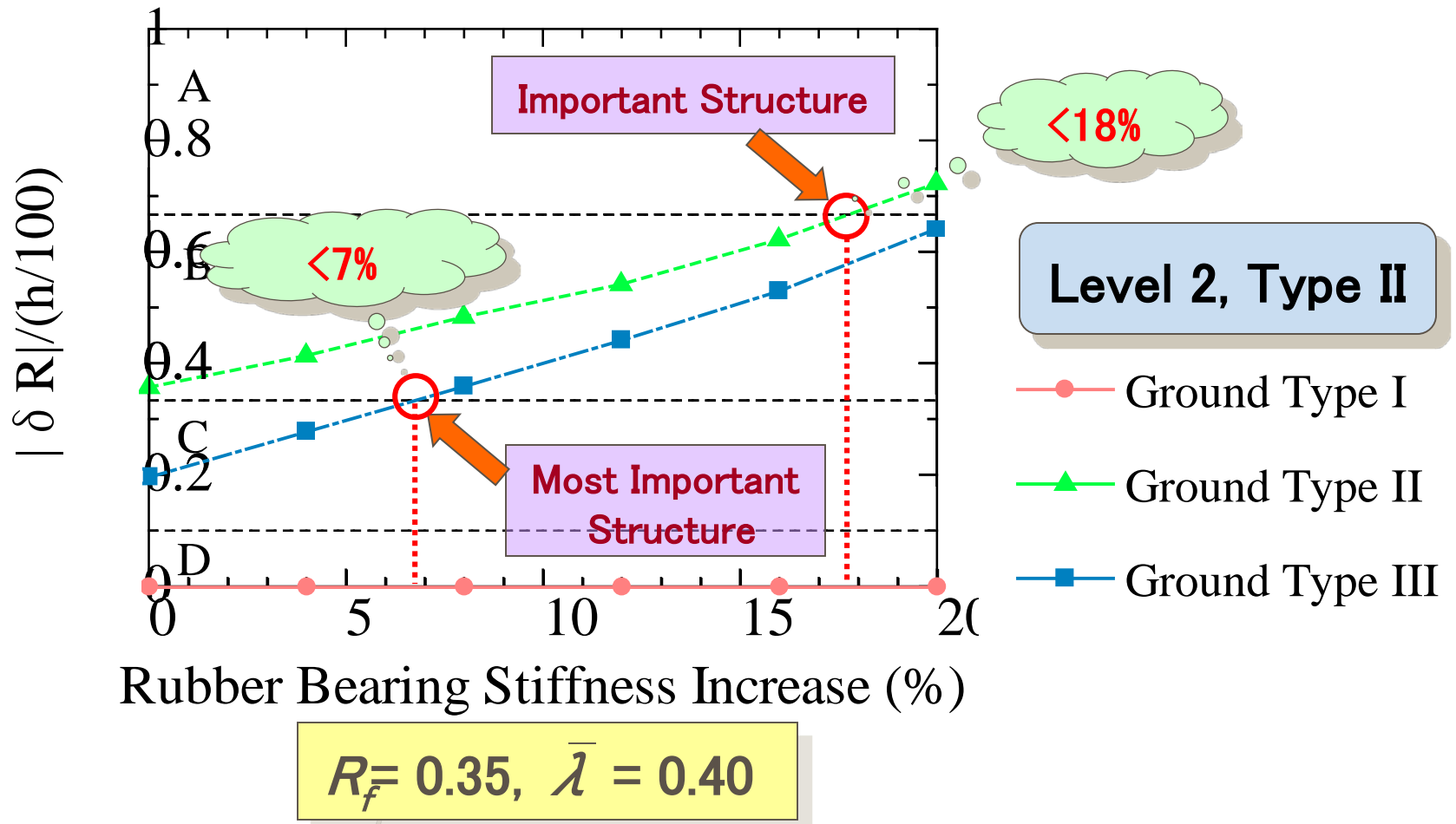
残留変位の変化



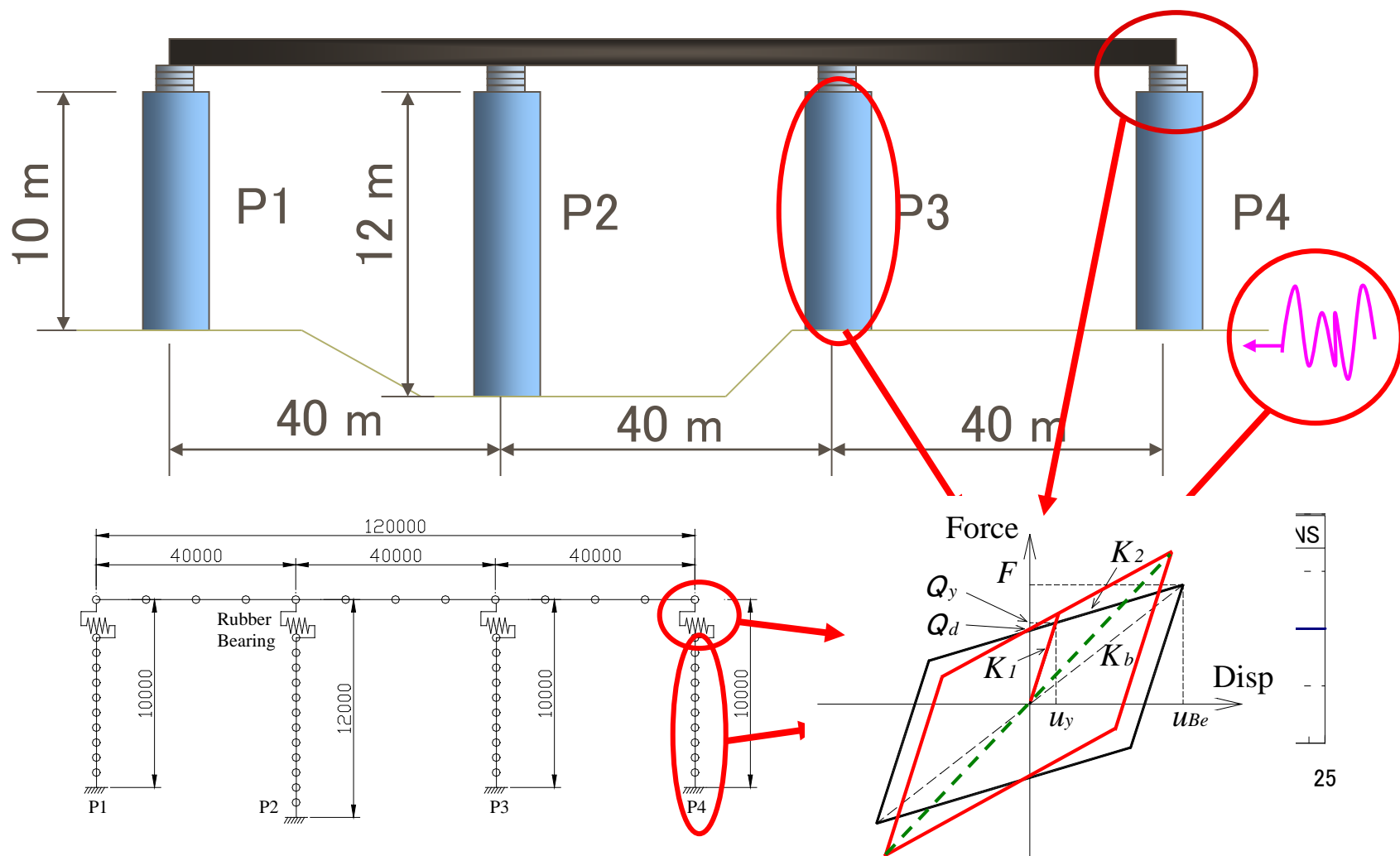
残留変位の変化



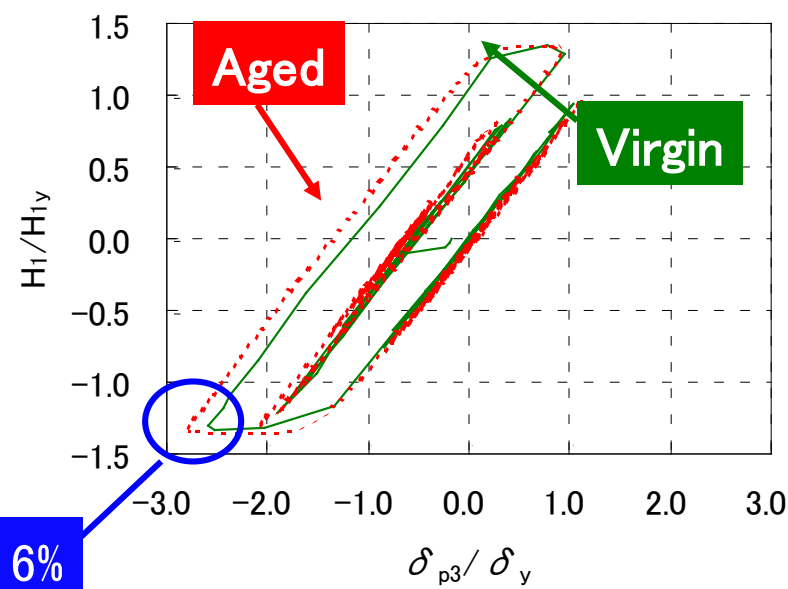
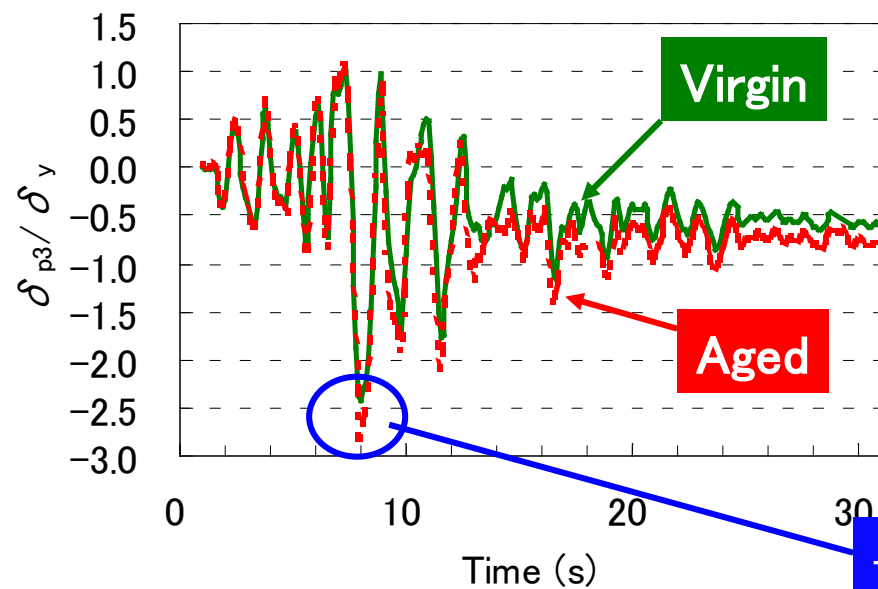
残留変位の変化



免震支承をもつ連続橋梁



新規と劣化後の地震時応答

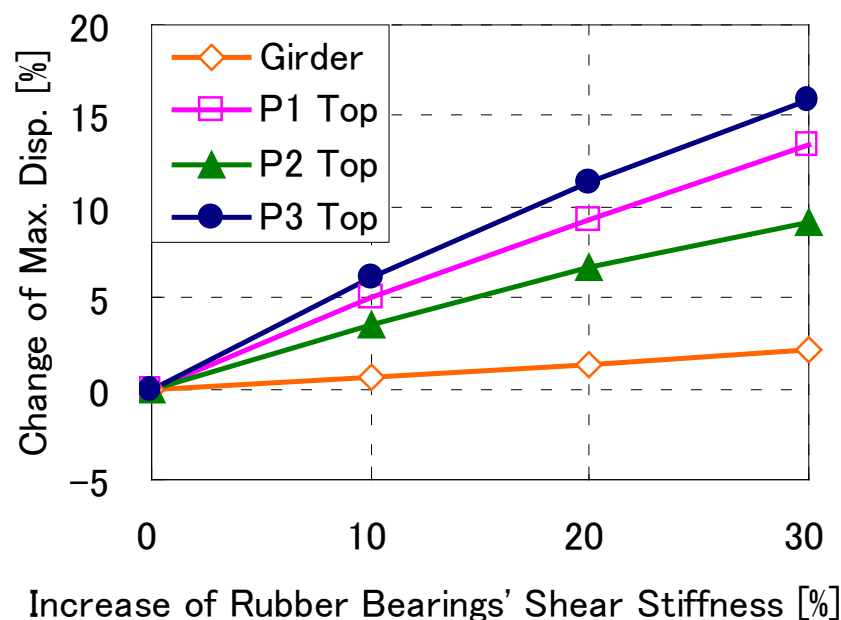


+16%

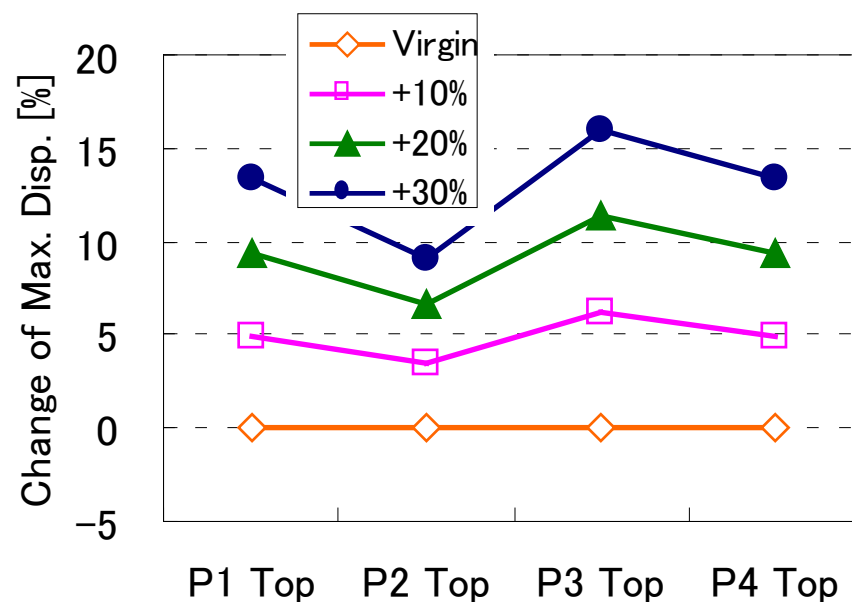
Seismic Response of P3

Hysteretic Curve of P3

水平せん断剛性の変化と地震応答



Variation of Max. Disp.
vs.
Bearing Shear Stiffness

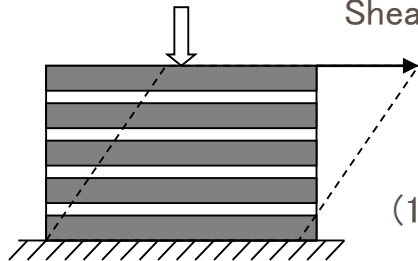


Max. Disp. of Each Pier

劣化した免震ゴム支承の性能

Vertical load:
960kN (2670kN)

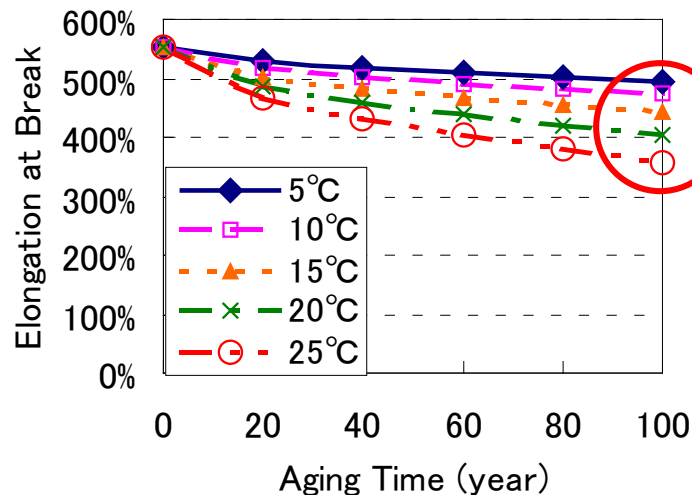
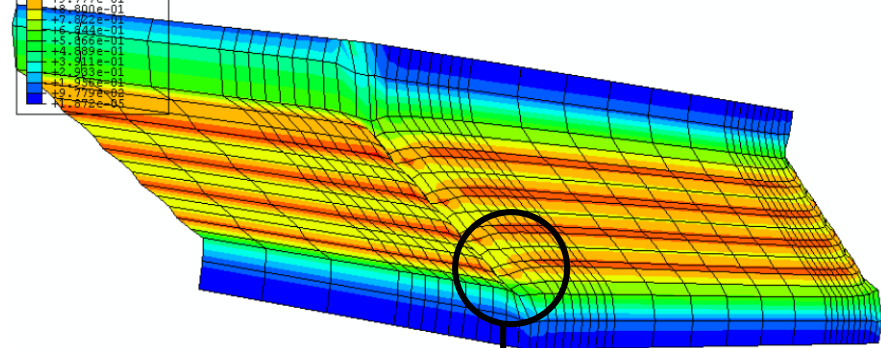
Horizontal displacement:
 $\pm 237.5\text{mm}$ ($\pm 312.5\text{mm}$)
Shear strain: $\pm 250\%$



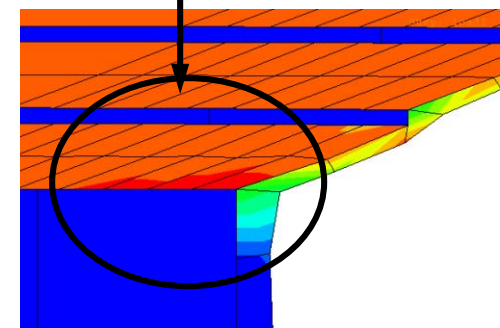
600 × 600mm
(1000 × 1000mm)

LE, Max. Principal
(Ave. Crit.: 75%)

+1.173e+00
+1.076e+00
+9.777e-01
+8.800e-01
+7.824e-01
+6.848e-01
+5.866e-01
+4.889e-01
+3.911e-01
+2.933e-01
+1.955e-01
+9.777e-02
+1.572e-02



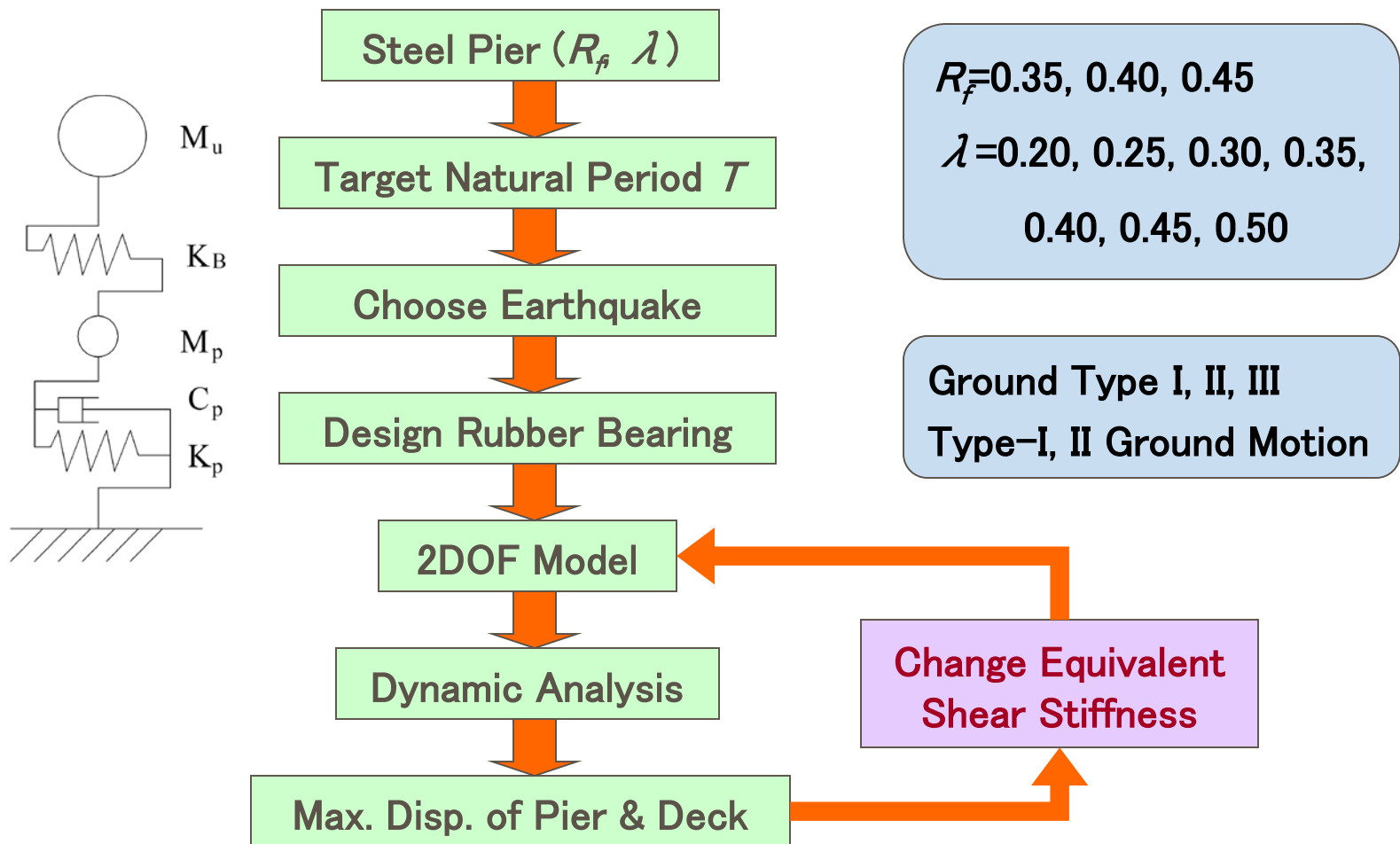
Future EB



Max. Principle Strain

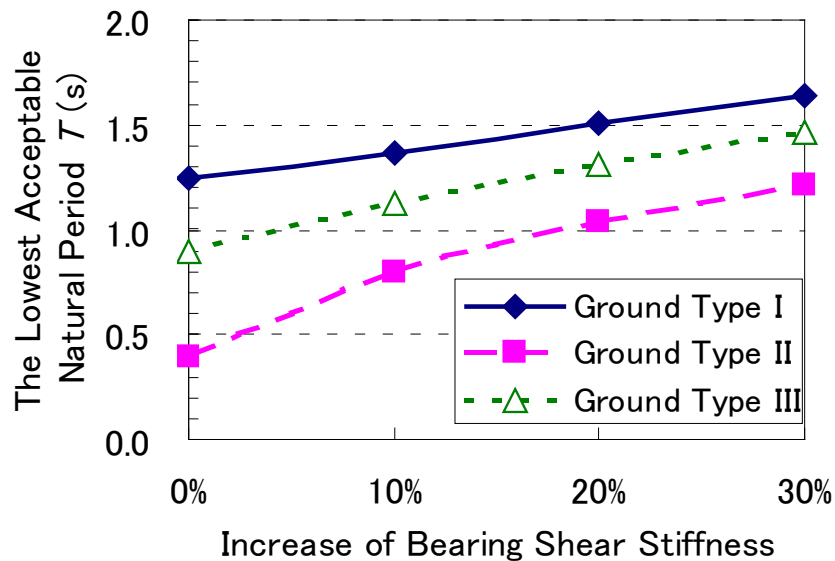
EB at 10mm to NRB surface

パラメトリック解析

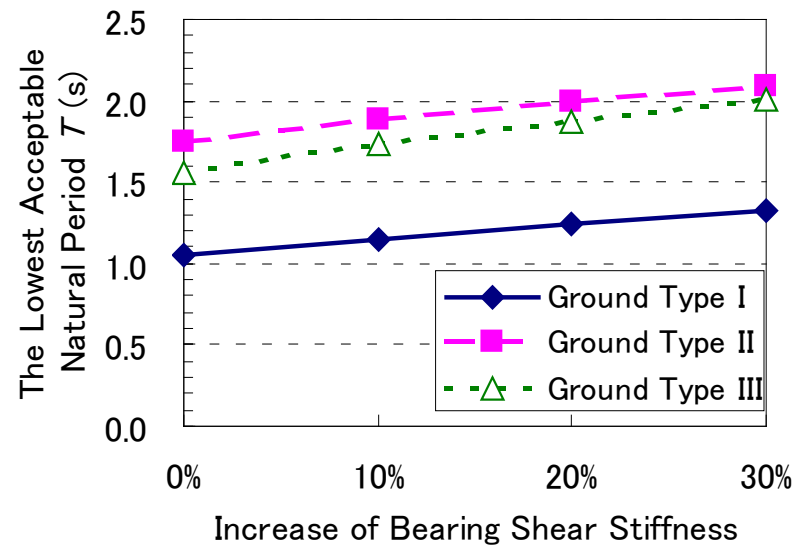


許容最少固有周期

重要構造物



Type-I 地震



Type-II 地震

本日の内容

1. 簡単な自己紹介

2. 免震ゴム支承の性能劣化特性

1) 材料レベル

2) 支承レベル

3) 橋梁レベル

3. 最近の課題 新たな課題

— 不明クラックの発生 — 99

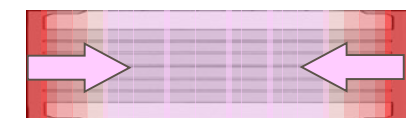
平成24年～平成26年度 建設技 術研究開発助成制度

政策課題解決型（一般タイプ）

荷重と環境作用を考慮した鋼橋の新しい
ライフサイクル耐久性評価システムの開発



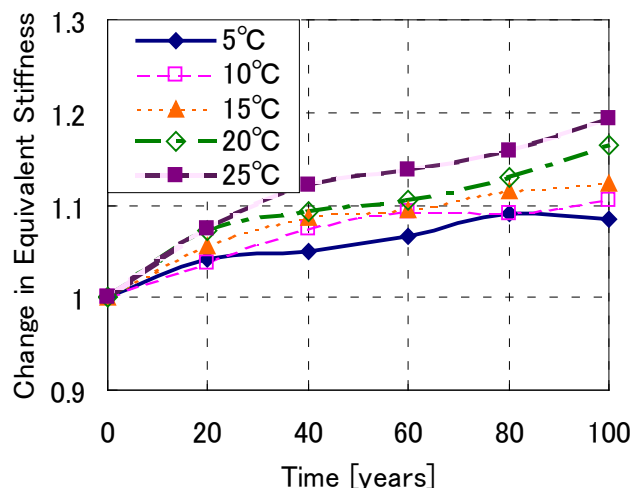
(2) ひずみと環境劣化因子を考慮した 免震ゴム支承の耐久性評価



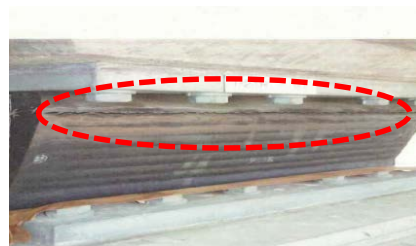
硬化, 脆化が内部に進行



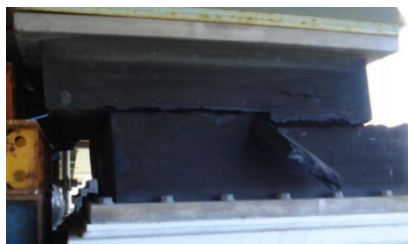
Critical深さ



等価水平剛性の経時変化



クラック
(原因不明)



破断 (3.11東北地方
太平洋沖地震)

実績

- ・ 支承断面内の劣化モデルの構築
- ・ 環境因子を考慮したライフサイクル性能評価

環境劣化因子

新規



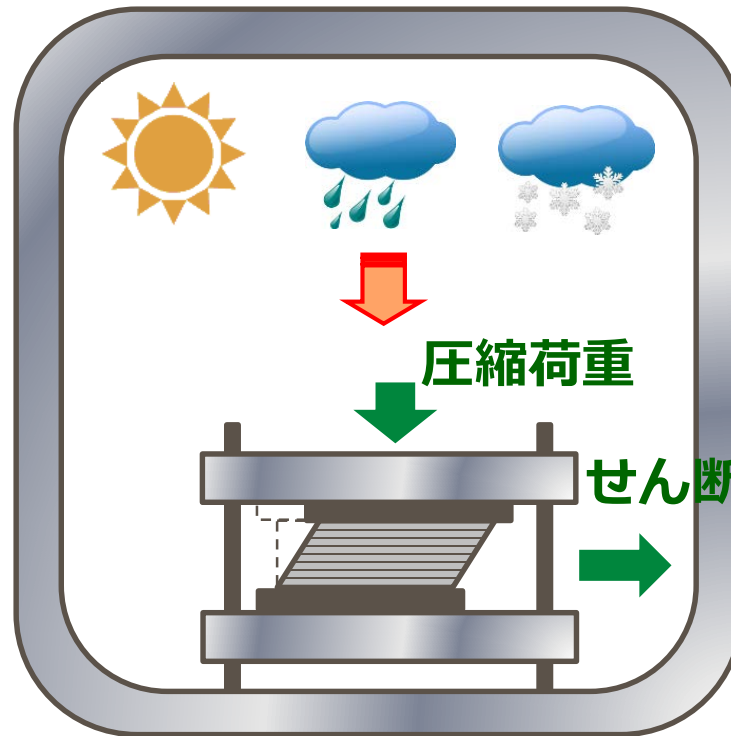
力学的因子

- ・ 圧縮荷重
- ・ せん断変形

(2) ひずみと環境劣化因子を考慮した 免震ゴム支承の耐久性評価

実大支承（幅1m, 長さ
1m, 高さ50cm）が設置
できる大型槽

長期実験が可能な耐久性
（チタンコーティング）



環境劣化因子の
負荷, 促進

日射, オゾン, 温度
を複合的に負荷

せん断変形

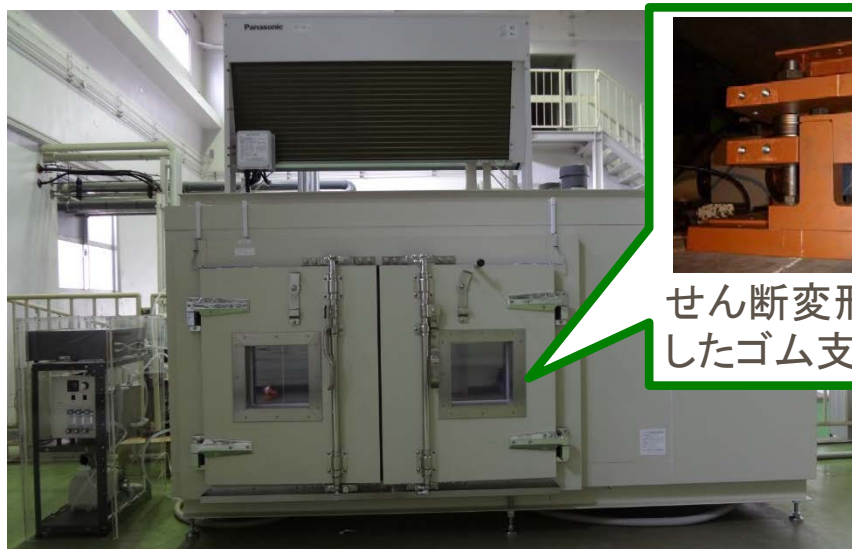
せん断ひずみ : 80%

免震ゴム支承 耐久性評価 大規模実験装置（開発予定）

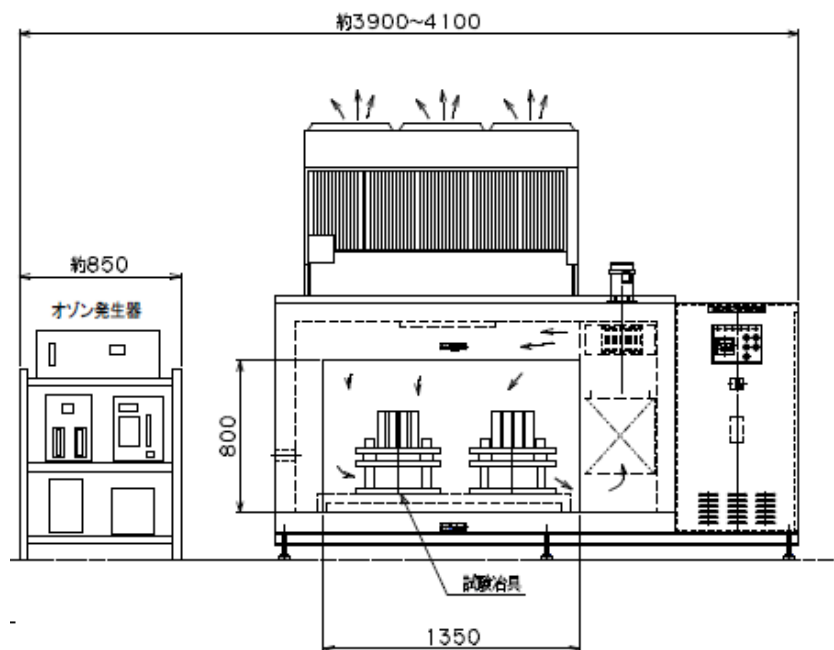
ゴム支承のクラック発生原因の究明と寿命評価

ひずみと環境劣化因子を考慮した 免震ゴム支承の耐久性評価

■ 平成24年12月，大型オゾン試験装置を導入



せん断変形を付与したゴム支承



装置仕様

- 温度: $-30^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$
- オゾン濃度: $0 \sim 150\text{pphm}$
- 内寸: $1500\text{W} \times 1000\text{D} \times 1000\text{H}$

ひずみと環境劣化因子を考慮した 免震ゴム支承の耐久性評価

条件: 40℃, オゾン100pphm

結果: 120時間で引張ひずみ領域に
クラック発生

新規性

ゴム支承のクラック発生条件の解明

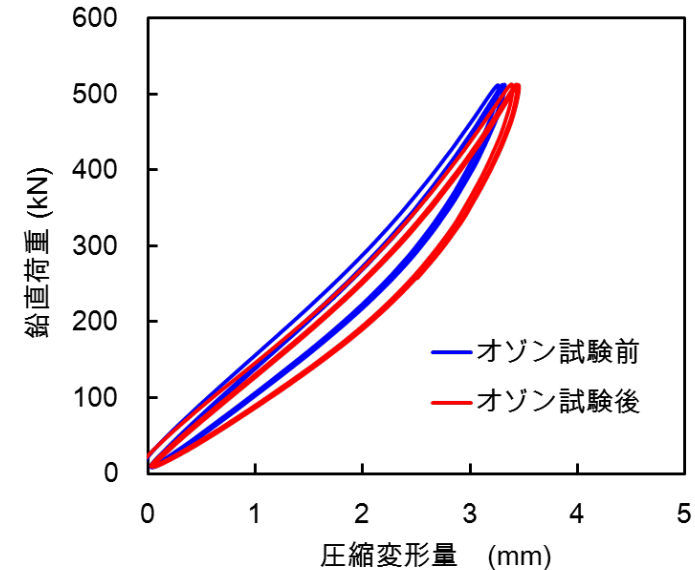
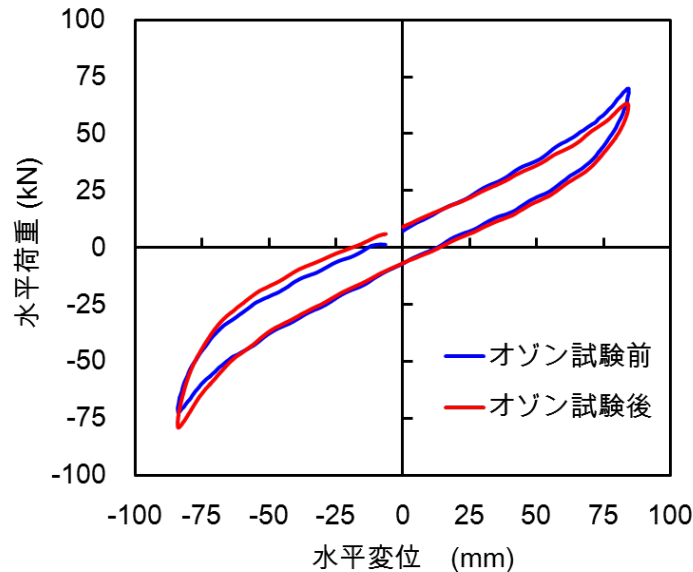
実用化

ひずみと環境作用を考慮したゴム
支承の耐久性評価



長さ30mm, 深さ6mm

(2) ひずみと環境劣化因子を考慮した 免震ゴム支承の耐久性評価



- クラックが支承供試体の耐荷・変形性能に及ぼす影響は小さい。
(クラックは比較的短く、被覆ゴムに留まっている) **追加実験中**
- 内部ゴム層への**クラック侵入を防止する補修法を検討**.
- 評価法と補修法の確立 ⇒ **新規性** **実現可能性**

詳しい内容の参考文献

日射の影響などは別の論文で検討

1. 伊藤義人, 矢澤晃夫, 佐藤和也, 顧 浩声, 忽那幸浩, 山本吉久(2005): 橋梁支承用ゴムの環境劣化特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.794/I-72, pp.253-266.
2. 伊藤義人, 佐藤和也, 顧 浩声, 山本吉久(2005): 橋梁支承用天然ゴムの長期劣化予測に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.185-196.
3. Itoh, Y., Gu, H., Satoh, K. and Kutsuna, Y.(2006): Experimental Investigation on Ageing Behaviors of Rubbers Used for Bridge Bearings, 土木学会論文集, No.808/I-74, pp.17-31.
4. Gu, H. and Itoh, Y.(2006): Seismic Response of Steel Bridge Piers with Aged Base-isolated Rubber Bearing, 構造工学論文集, Vol.52A, 2006.3, pp. 537-546
5. 伊藤 義人, 佐藤 和也, 顧 浩声, 山本 吉久(2006): 橋梁用天然ゴム支承の性能劣化特性に関する研究, 土木学会論文集A, Vol.62, No.2, pp.255-266.
6. Itoh, Y., Gu, H.S.(2009): Prediction of Aging Characteristics in Natural Rubber Bearings Used in Bridges, J. Bridge Engrg. Volume 14, Issue 2, ASCE, pp.122-128.
7. Paramashanti, Kitane, Y., Itoh, Y.(2010): Long-Term Performance of Rubber Bearing Considering Solar Radiation Effect, J. Structural Engineering, Vol.56A, pp.687-700.
8. Gu, H. S., Itoh, Y. (2011): Aging Behaviors of Natural Rubber in Isolation Bearings, Advanced Materials Research, pp, 3343-3347.
9. Paramashanti, Kitane, Y., Itoh, Y., Kito, S., Muratani, K.(2011): Experimental Investigation of Aging Effect on Damping Ratio of High Damping Rubber Bearing, J. Structural Engineering, Vol57A, 2011.3, pp.769-779.

本日の内容

1. 簡単な自己紹介
2. 免震ゴム支承の性能劣化特性
 - 1) 材料レベル
 - 2) 支承レベル
 - 3) 橋梁レベル
3. 最近の課題

時間があれば
質疑応答