

September 6, 2012
膜協サマーセミナー

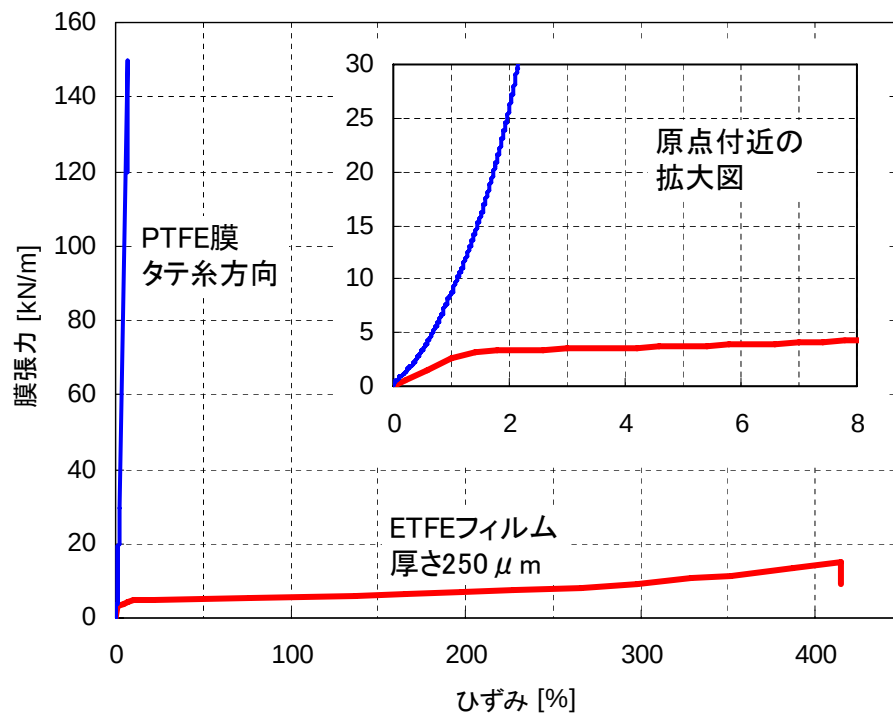
ETFEフィルムを用いた 膜構造の設計

横浜国立大学
河端昌也

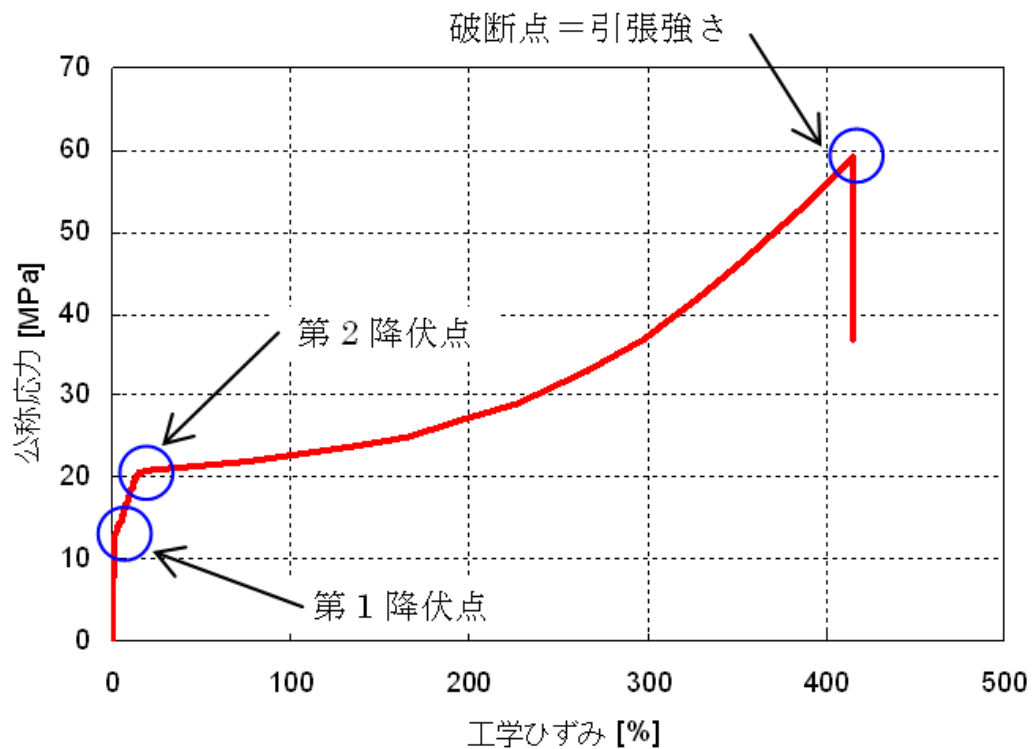
本日の内容

1. ETFEフィルムの特性
2. クッション方式とテンション方式
3. クリープ、応力緩和、応力集中
4. 告示案の概要
5. 近年の動向

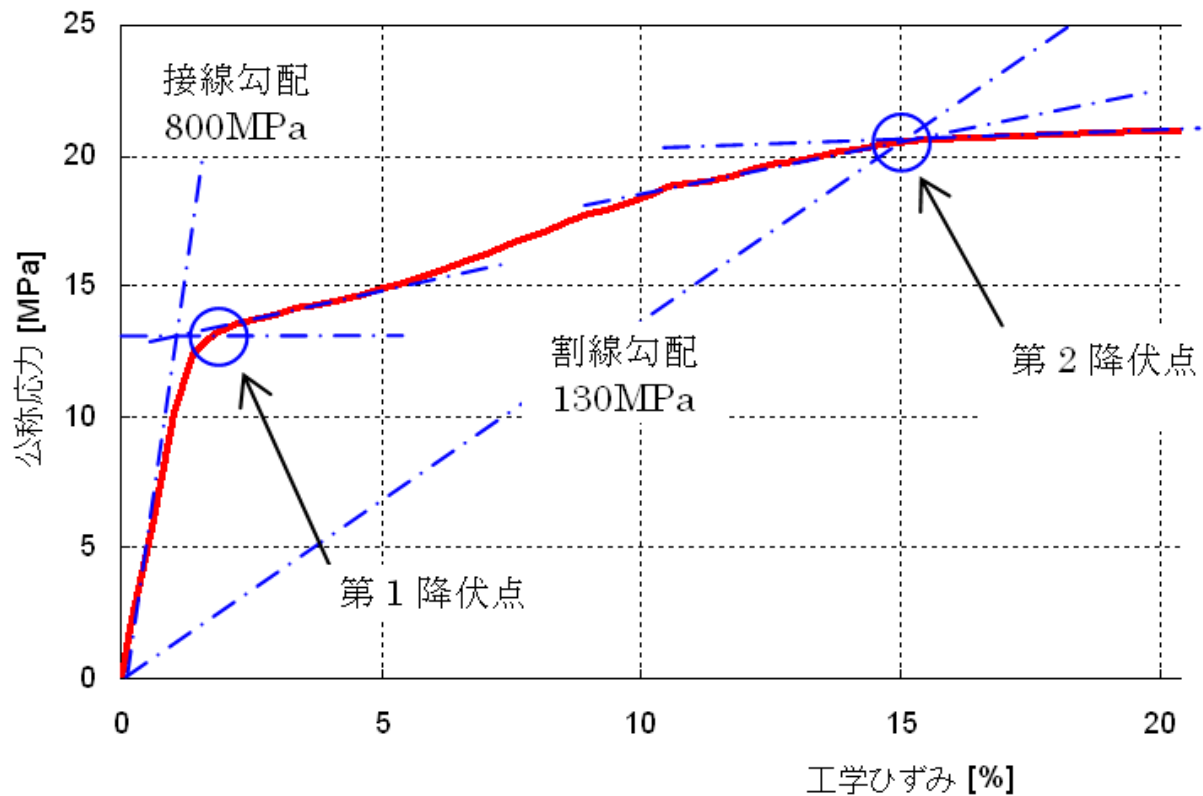
A種膜とETFEフィルムの比較(1軸)



ETFEフィルムの引張特性(1軸)



ETFEフィルムの引張剛性



膜協サマーセミナー 2012/9/6

5

各種膜材料の物性比較

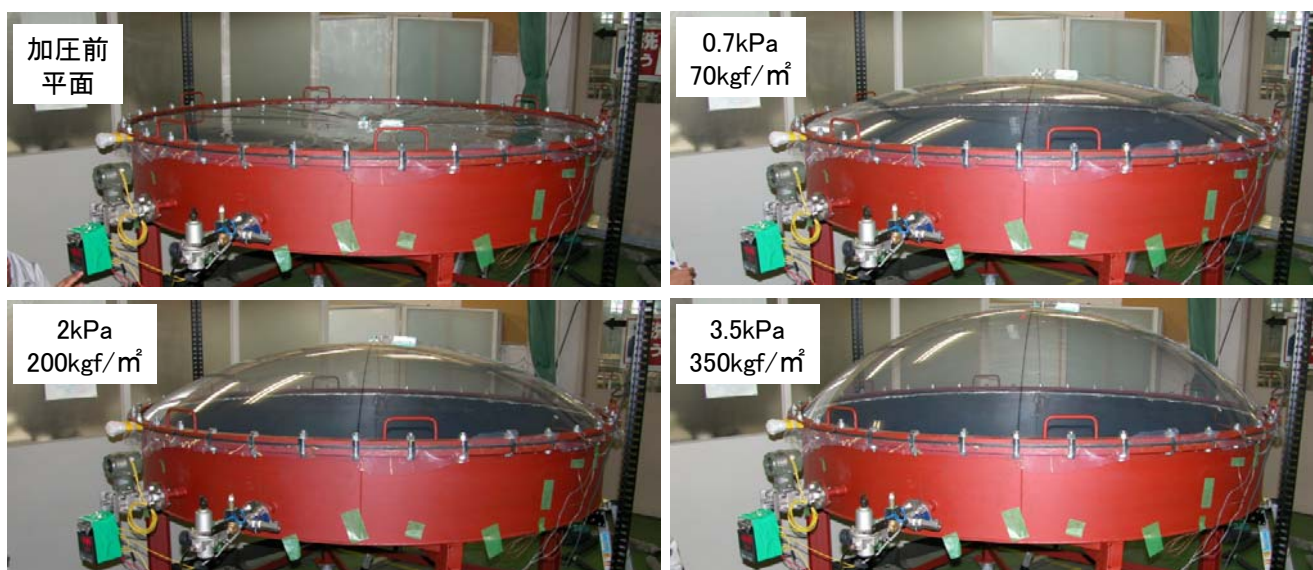
	A 種膜	C 種膜	ETFE フィルム
基布(織布補強)	ガラス繊維	ポリエステル樹脂等	なし
コーティング材	PTFE(フッ素樹脂)	PVC(塩化ビニル樹脂)等	ETFE(フッ素樹脂)
等方性/異方性	強い異方性	ほぼ等方性	ほぼ等方性
特徴	高強度、不燃性 耐候性、防汚性	高強度、防炎性 柔軟性、経済性	展延性、防炎性、透明性 耐候性、防汚性
厚さ	0.6~1.0mm	0.6~1.0mm	0.05~0.25mm
引張強さ(1軸)	100~150kN/m	20~130kN/m	3.5~20kN/m (70~80N/mm ²)
引張剛性(1軸)	1000~2000kN/m	200~1000kN/m	10~200kN/m (初期 800、割線 200N/mm ²)

フィルム(250μm厚)の強度はA種膜の1/5、剛性は1/10程度

なぜ直径10mのエアクションが可能なのか？

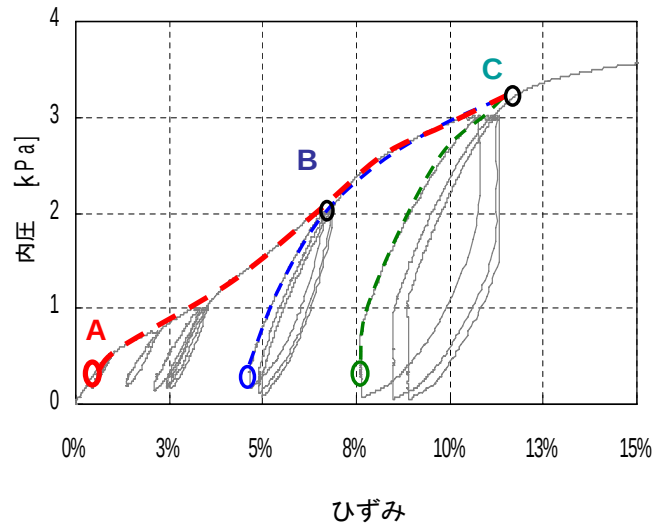
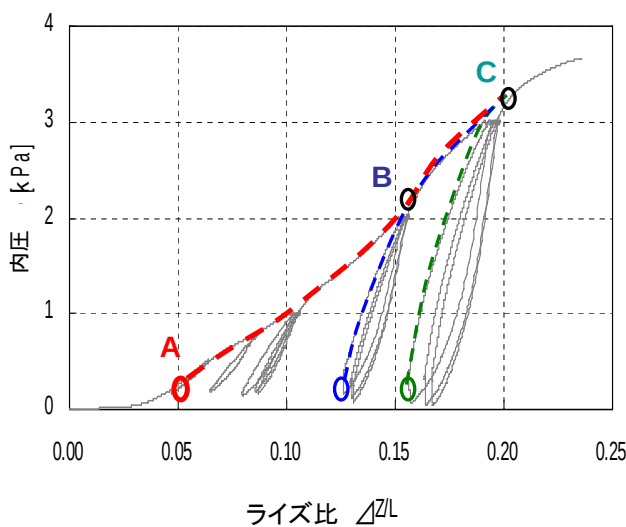
2. クッション方式とテンション方式

内圧によるエアクッションの延伸



直径 2m、厚さ 100 μ m

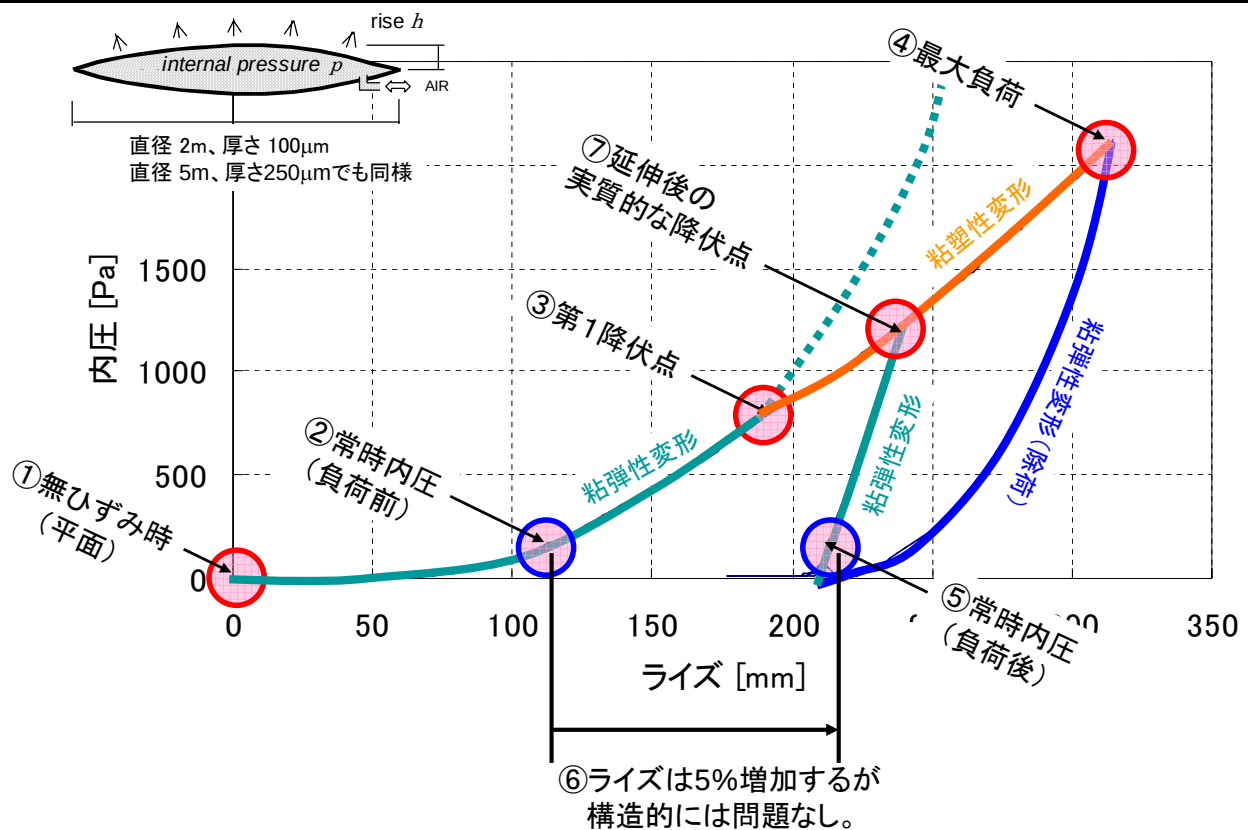
内圧によるエアクッションの変形、ひずみ



繰返し加圧 → 2軸(1:1)延伸
 A 延伸なし
 B 6.7% 延伸
 C 11% 延伸

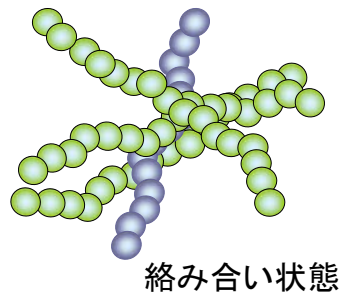
→ 実質的な降伏点
 0.7kPa
 2.0kPa
 3.0kPa

エアクッションの挙動

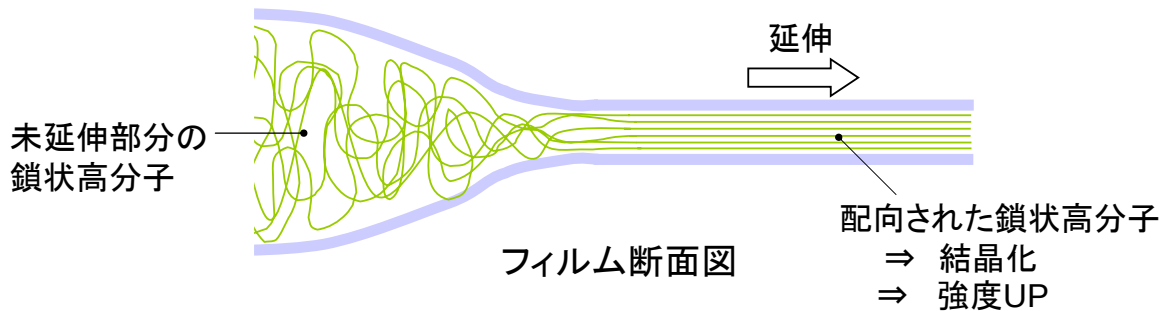


フィルムの延伸

フィルムの分子構造



延伸の効用



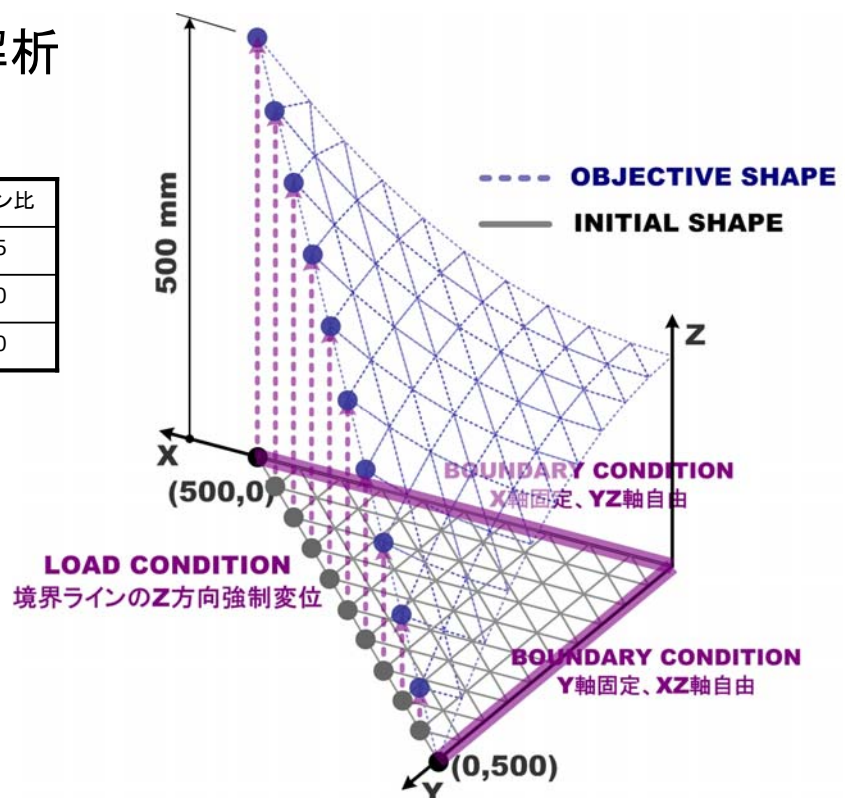
テンション方式／延伸によるHP曲面の形成

疑似HP曲面の解析 (弾塑性解析)

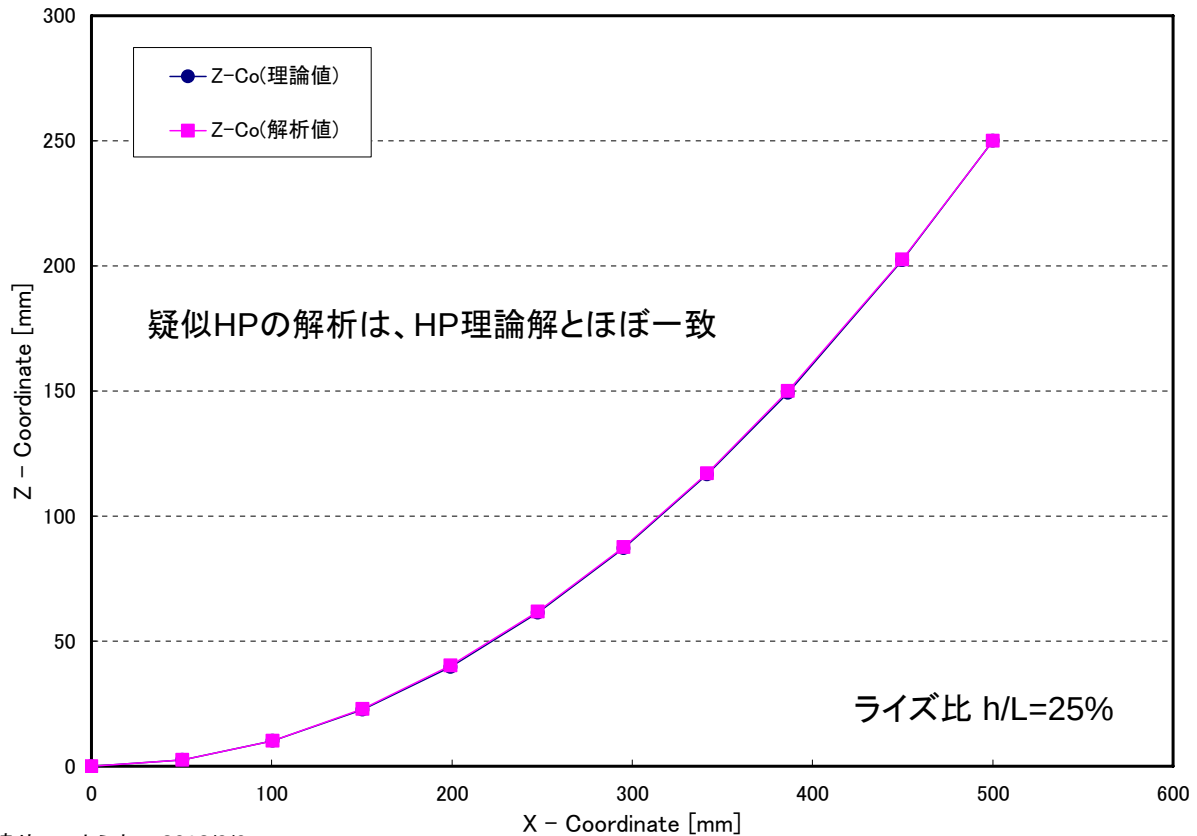
応力域MPa	1次剛性	ポアソン比
$0 \leq \sigma < 14$	800MPa	0.45
$14 \leq \sigma < 20$	45MPa	0.50
$20 \leq \sigma$	3MPa	0.50

曲面

平面



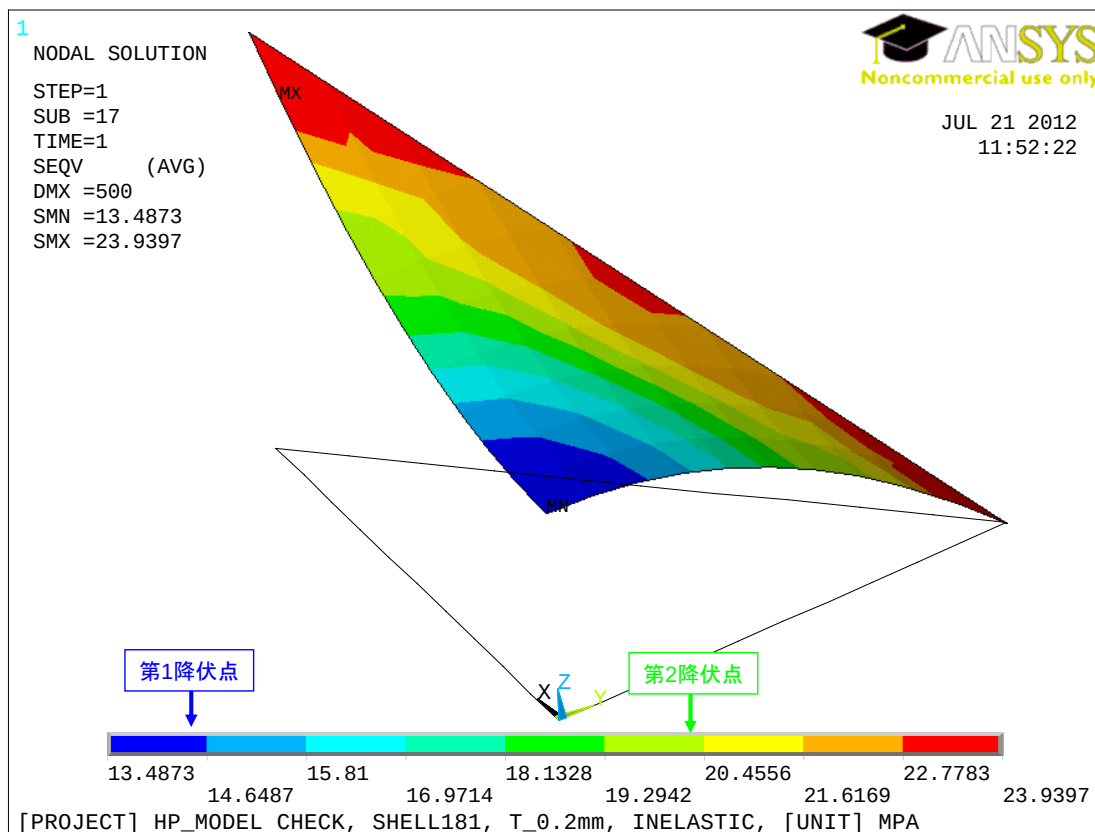
疑似HP曲面の形状



膜協サマーセミナー 2012/9/6

13

疑似HP曲面の応力分布

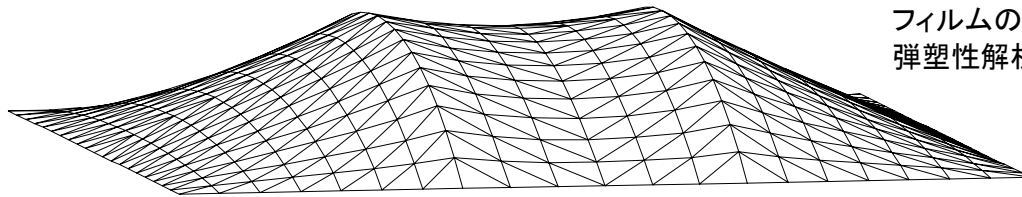


膜協サマーセミナー 2012/9/6

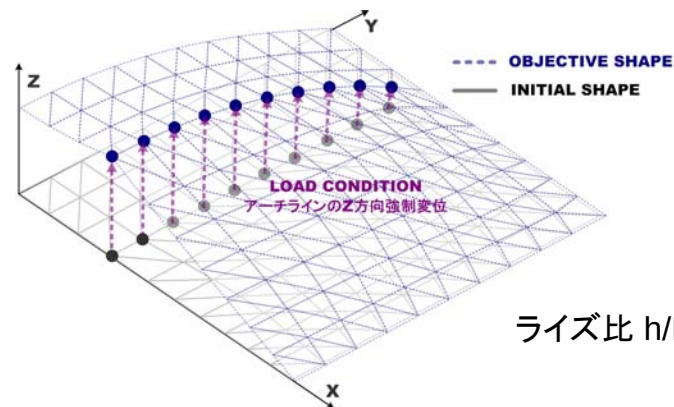
14

延伸による曲面形成(アーチ突上げ方式)

2連アーチによる平面フィルムの突上げ



平面形状 3m × 3m
フィルムの厚さ 200 μm
弾塑性解析

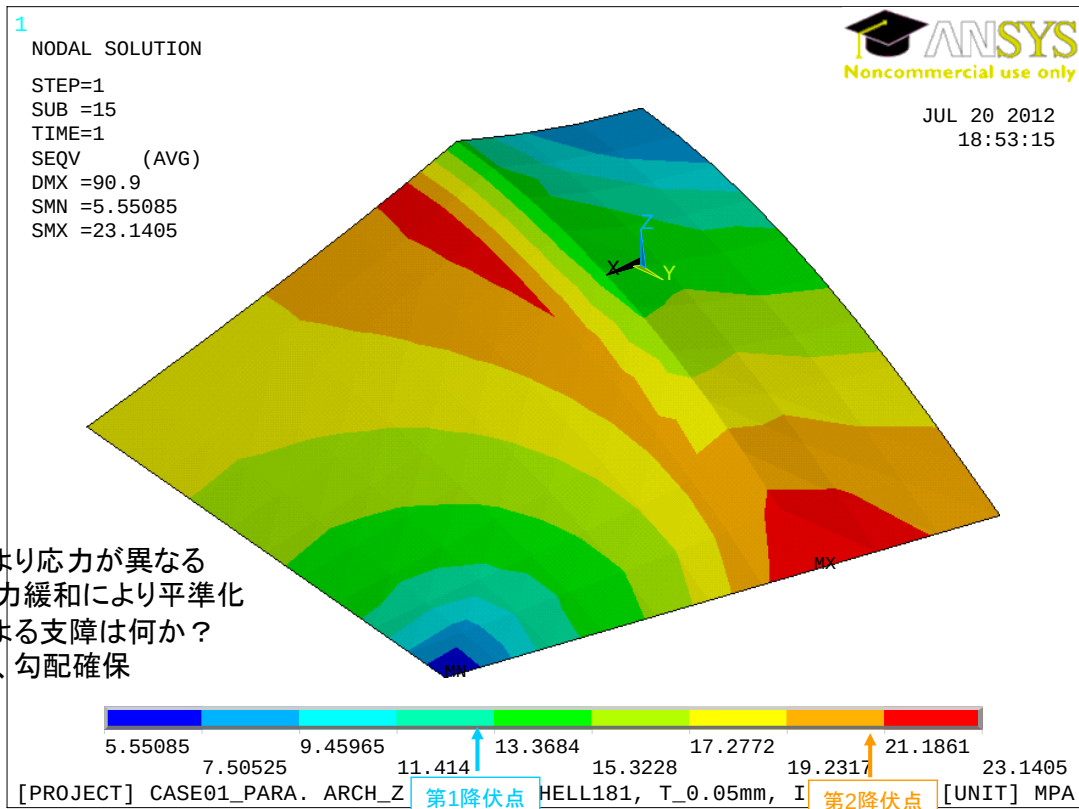


ライズ比 $h/L=10\%$

膜協サマーセミナー 2012/9/6

15

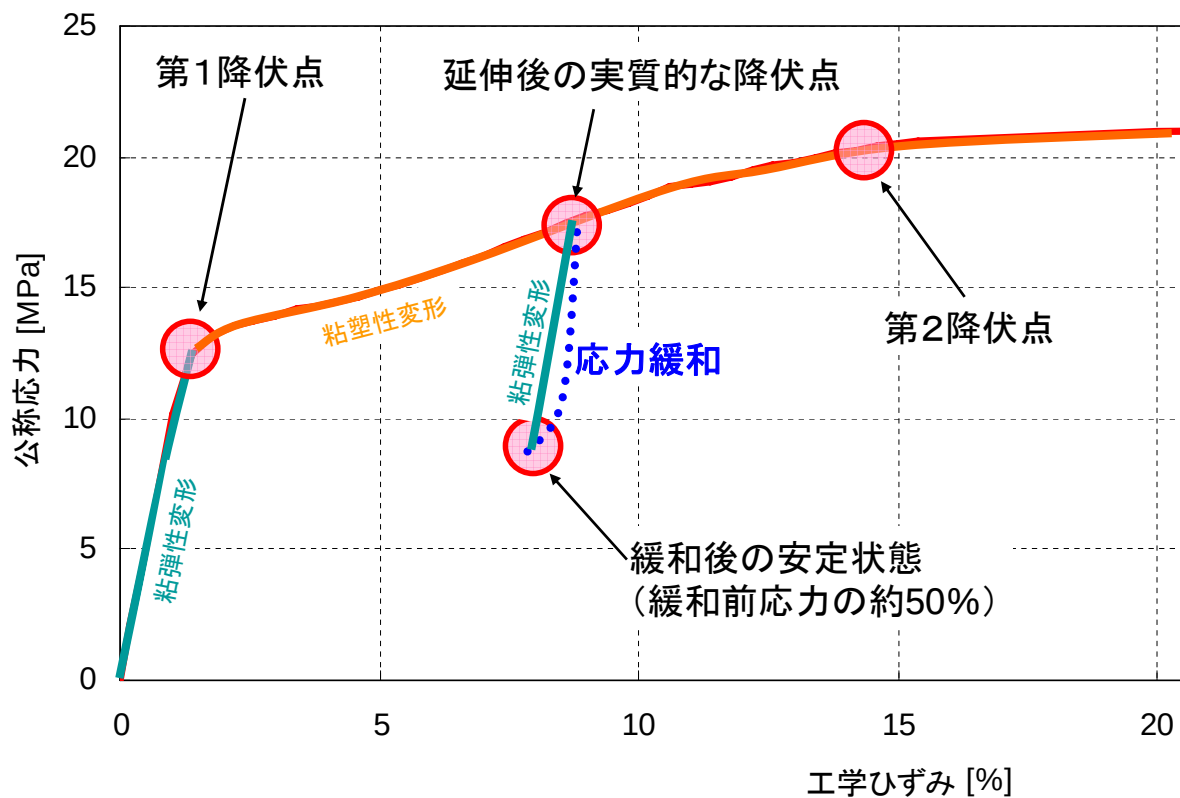
延伸後の応力分布(アーチ突上げ方式)



膜協サマーセミナー 2012/9/6

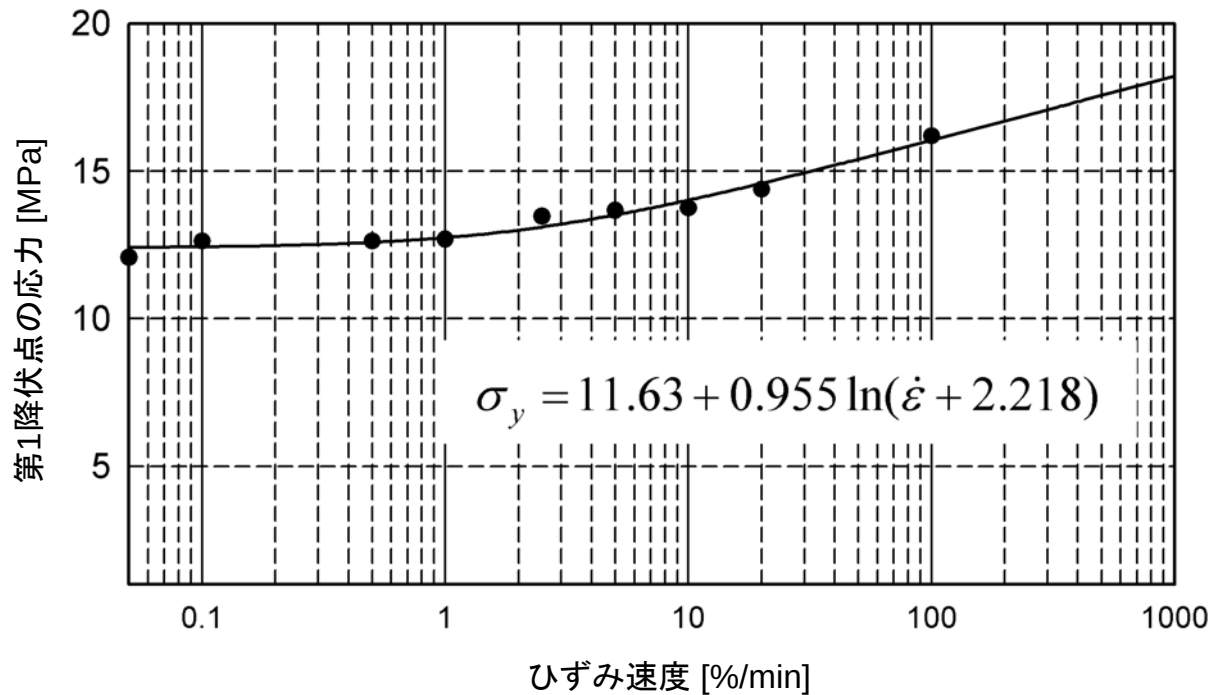
16

テンション方式の挙動



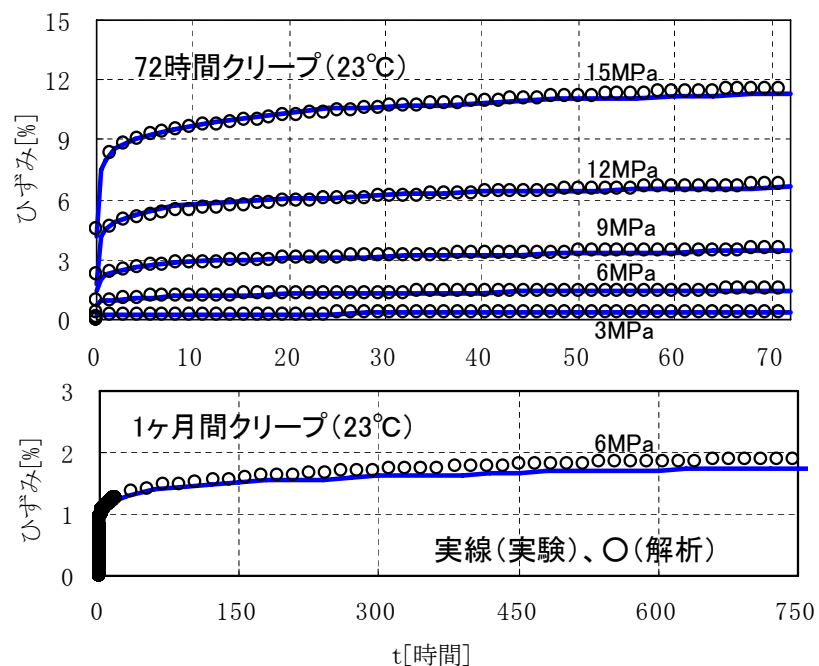
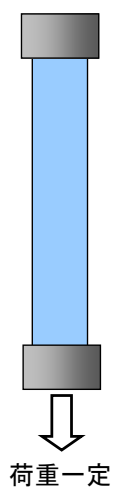
3. クリープ、応力緩和、応力集中

引張速度と1次降伏点(1軸引張)



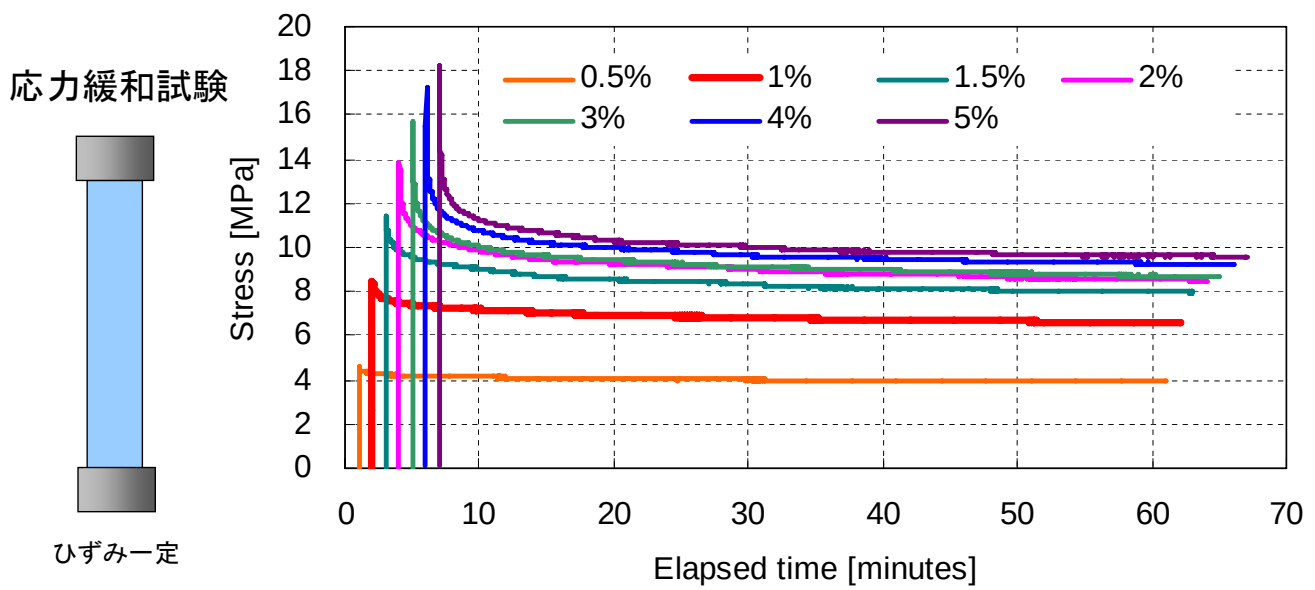
フィルムのクリープ(1軸引張)

クリープ試験



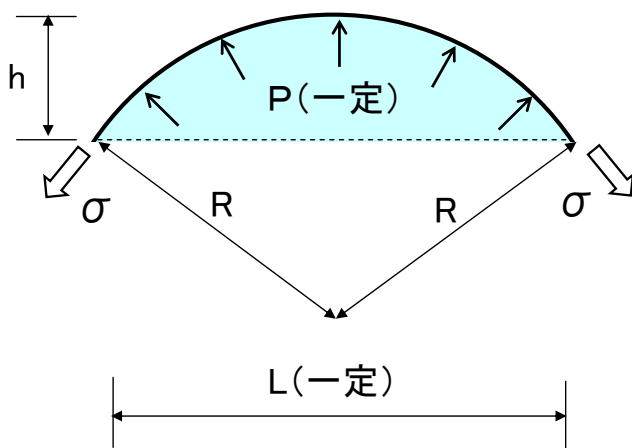
6MPaを超えるとクリープが顕著で、停留しにくい。

フィルムの応力緩和(1軸引張)



高応力ほど応力緩和が大きい

長期クリープの検討(1軸引張)

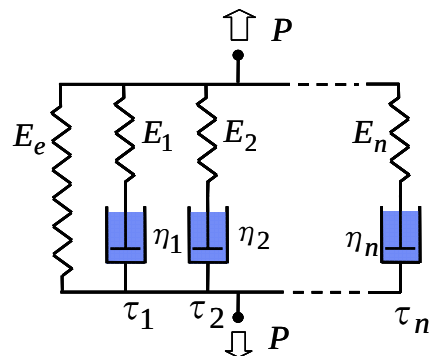


等張力の球面
における膜応力

$$\sigma = PR/2t$$

※ t : フィルム厚

一般化マクスウェルモデル

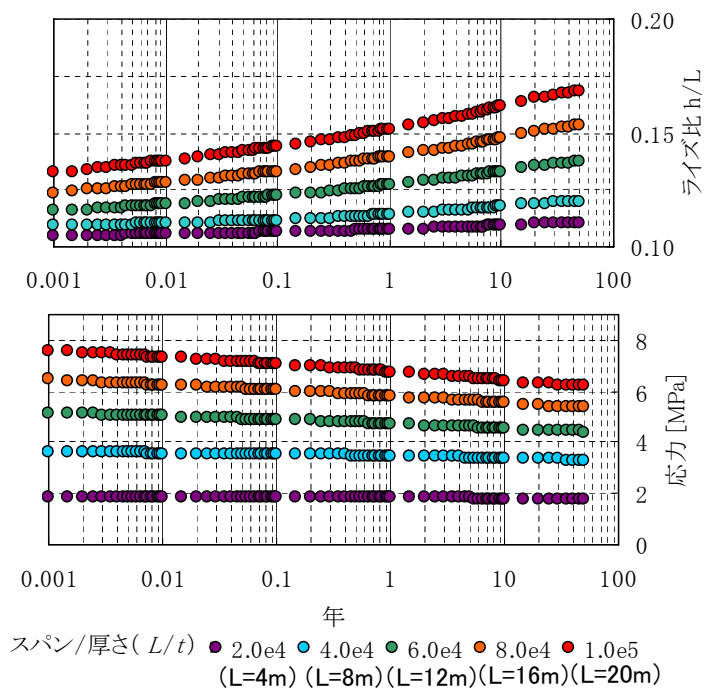


長期クリープによるエアクッションの状態変化

検討条件

- ・常温23℃、球面
- ・フィルム厚200 μm
- ・初期ライズはスパンの1/10
- ・内圧は常時150Paで一定
- ・スパン5種類で検討

設計時の初期応力を6MPa以上にすることは望ましくない。



内圧150Paによるパネルの長期クリープ

フィルムの進行性ポンディング



応力が6MPaを超えると、進行性ポンディングを生じる

進行性ポンディング対策



支持部材
を設ける



勾配を確保する

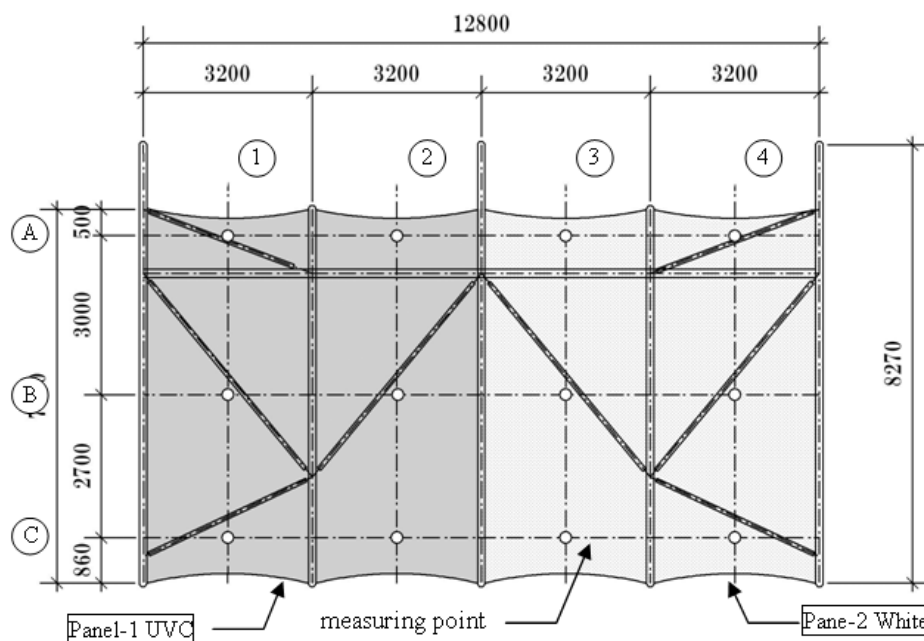


テンションタイプの張力測定



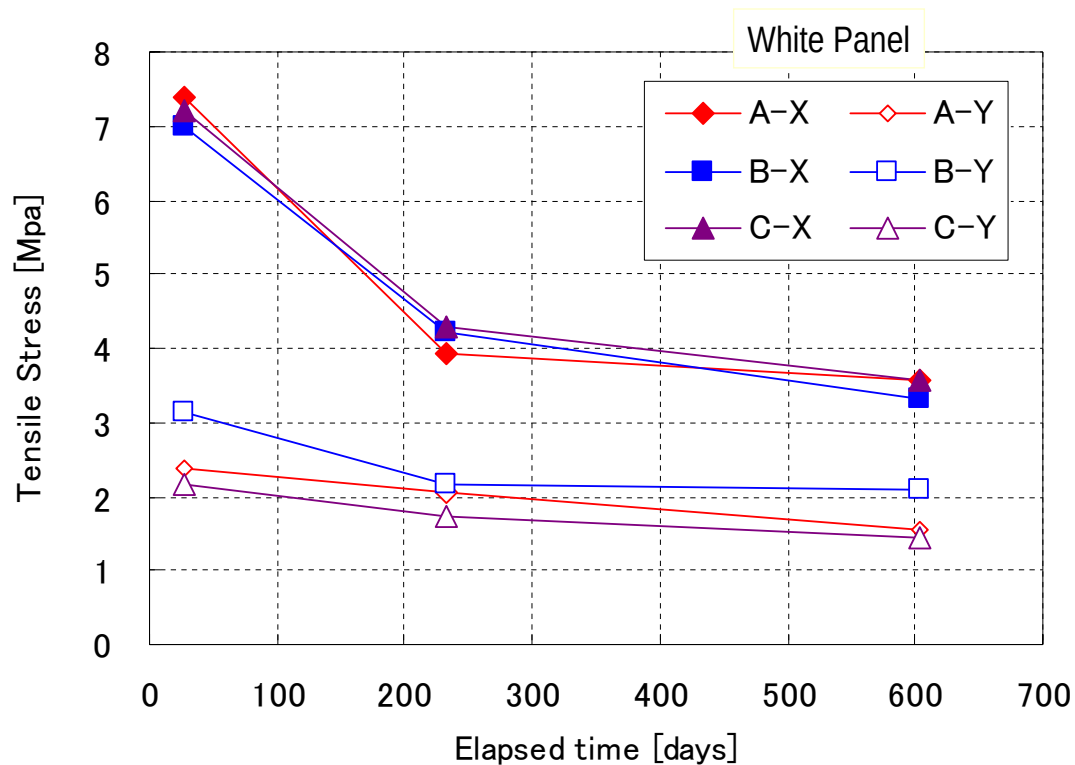
横浜国立大学
建築棟屋上キャンピー

テンションタイプの張力測定

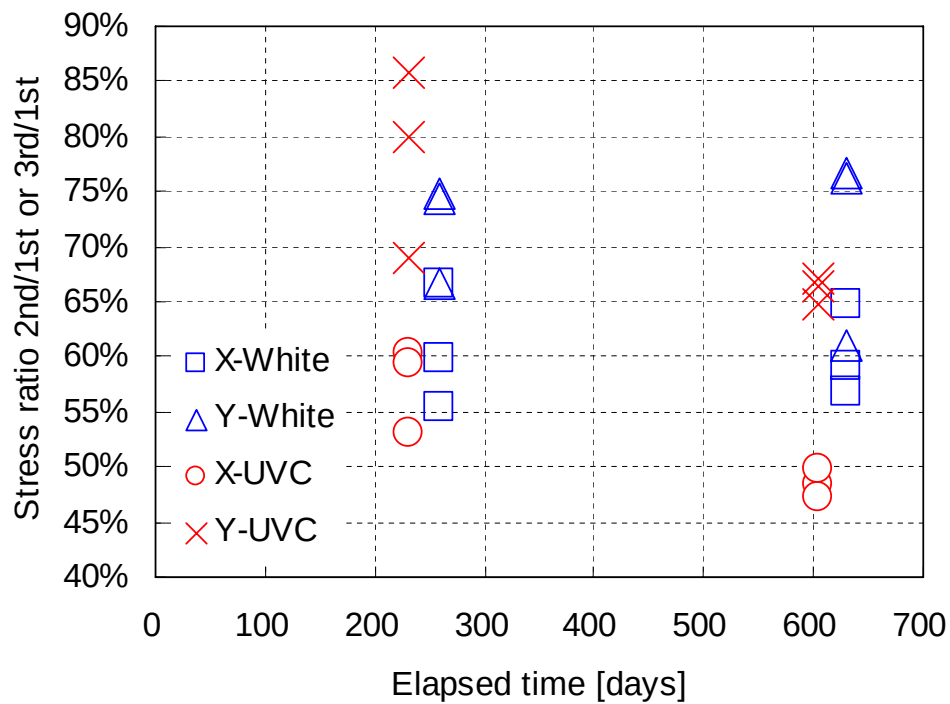


協力／太陽工業(株)、
名古屋大学大森研究室

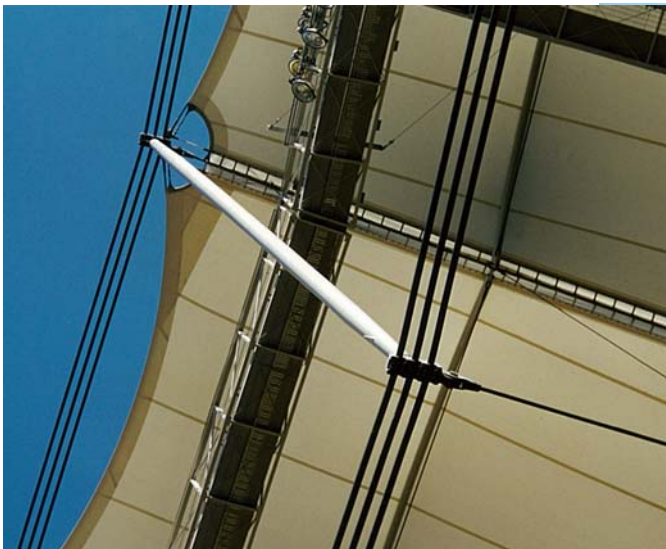
経年後の張力(白色フィルム)



経年後の張力保持率



応力集中(1軸引張)



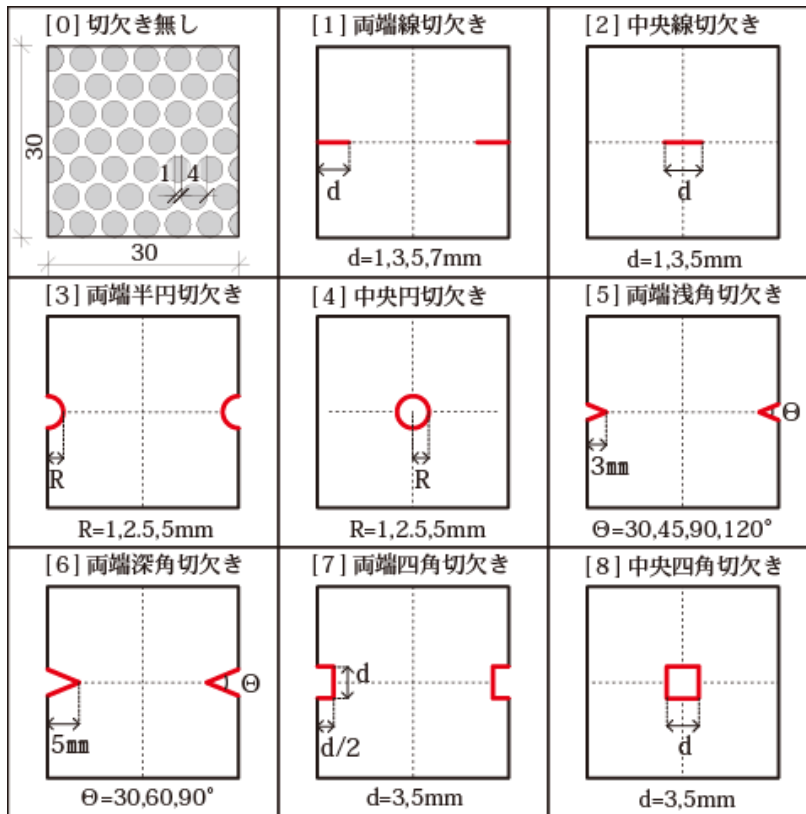
A種膜



フィルム

引裂防止のためのコーナー処理⇒Rはどれだけ必要か？

切欠き試験片の1軸引張実験



■目的

切欠き形状と応力集中の関係、
亀裂発生時ひずみの検討

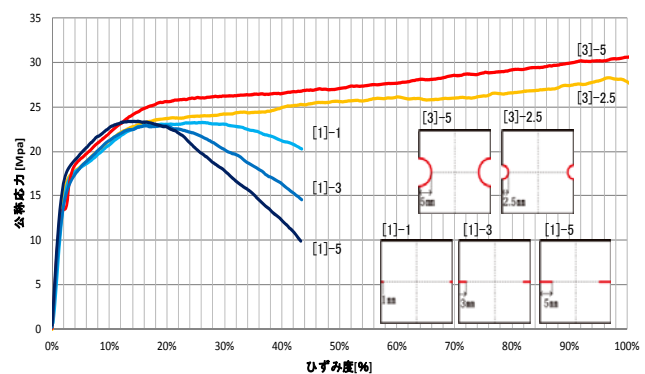
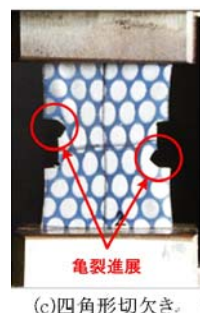
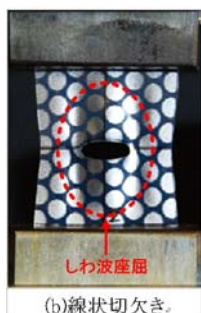
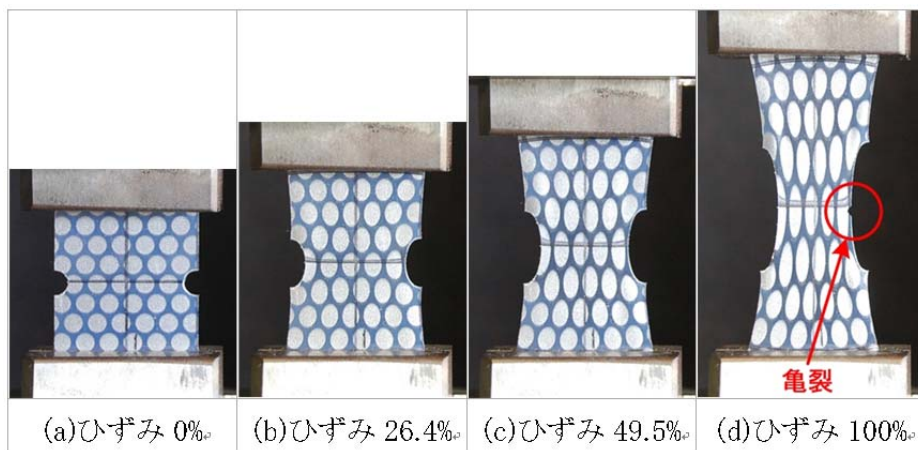
■試験条件

寸法: 30×30mm×200μm

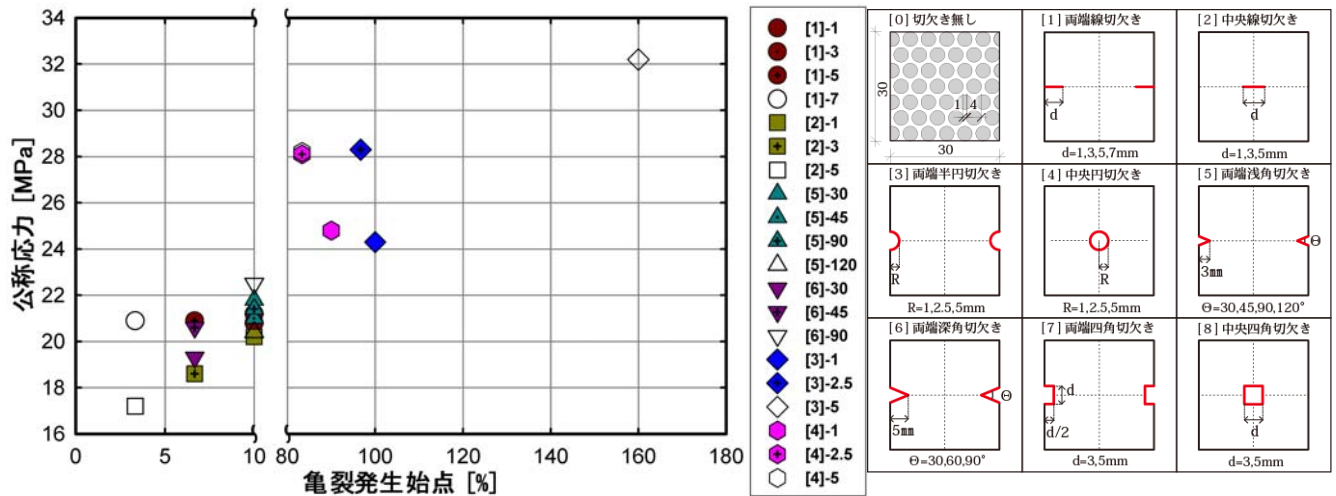
引張速度: 10%/min



切欠き試験片の形状変化



切欠き形状と亀裂発生始点ひずみ



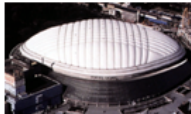
＜円形＞ R1~2.5mm⇒100%、R5mm⇒160%
 ＜直線、三角、四角＞ 3~10%で亀裂発生

4. 告示案の概要

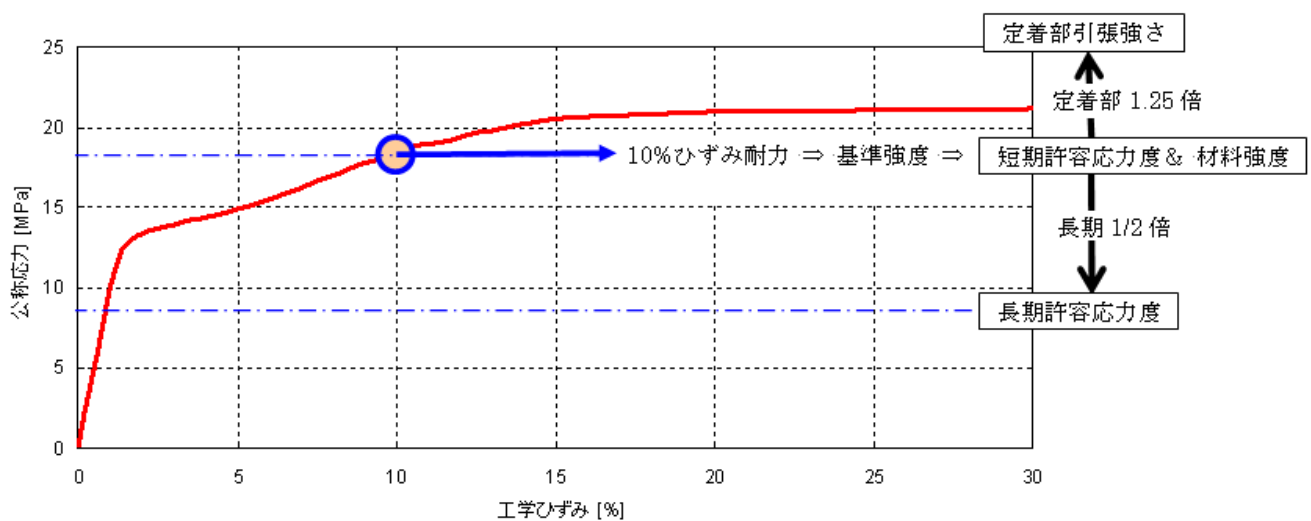
告示案／分類

フィルムを用いた膜構造の位置付け

- 架構全体の構造システムに若目した膜構造の分類 □ 膜の展張方法（膜の境界部分を引張る、空気圧を加える等）によらず、架構全体の構造システムで分類する。
 □ 利点：分類が分かりやすい、構造システムと規模（面積、構造、防災の観点）が整合する。

	構造システム	従来の膜材料を用いた例	ETFE フィルムを用いた例
骨組 膜構造	骨組支持	 あきたスカイドーム	  エデンプロジェクト（※2） 横浜国立大学施設（※3）
サスペン ション 膜構造	ケーブル 支持	 大和町体育館	 ミュンヘンの動物園（※2）
空気 膜構造 （※1）	空気支持	 東京ドーム	 農業用施設・菜園（※2）
	空気膨張	  Expo'70 富士パビリオン Expo'85 テクノコスモス	

告示案／許容応力度（膜材、定着部）の考え方



5. 近年の動向

ユニット化



ファスナーの小型化



膜協サマーセミナー 2012/9/6

39

ファサード化



<http://blog.goo.ne.jp/shukango/e/aa837f619bdd678125c8c95faba74c91> より引用

膜協サマーセミナー 2012/9/6

Beijing National Aquatics Centre, China 2008

40

都市化



New Street ETFE
foil courtyard roof,
London

膜協サマーセミナー 2012/9/6

41

シングルレイヤー化



膜協サマーセミナー 2012/9/6

Training Center for Mountain Rescue Service, Germany 2006

42