

はじめに

ゴム管と鋼管を併用した緩衝材

鋼管の降伏前及び鋼管の圧壊後

ゴム管が衝撃緩衝材，エネルギー吸収材として働く

大きい衝突エネルギー

鋼管の降伏後の塑性変形で吸収

荷重-変位関係をそれぞれの部材の
基本特性からモデル化可能

目的

力学モデルの妥当性を検証



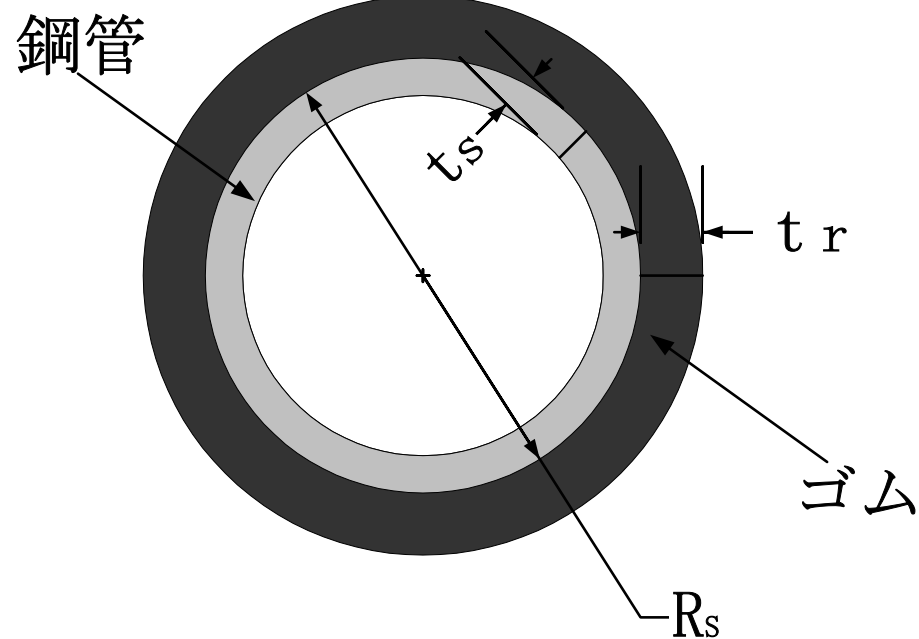
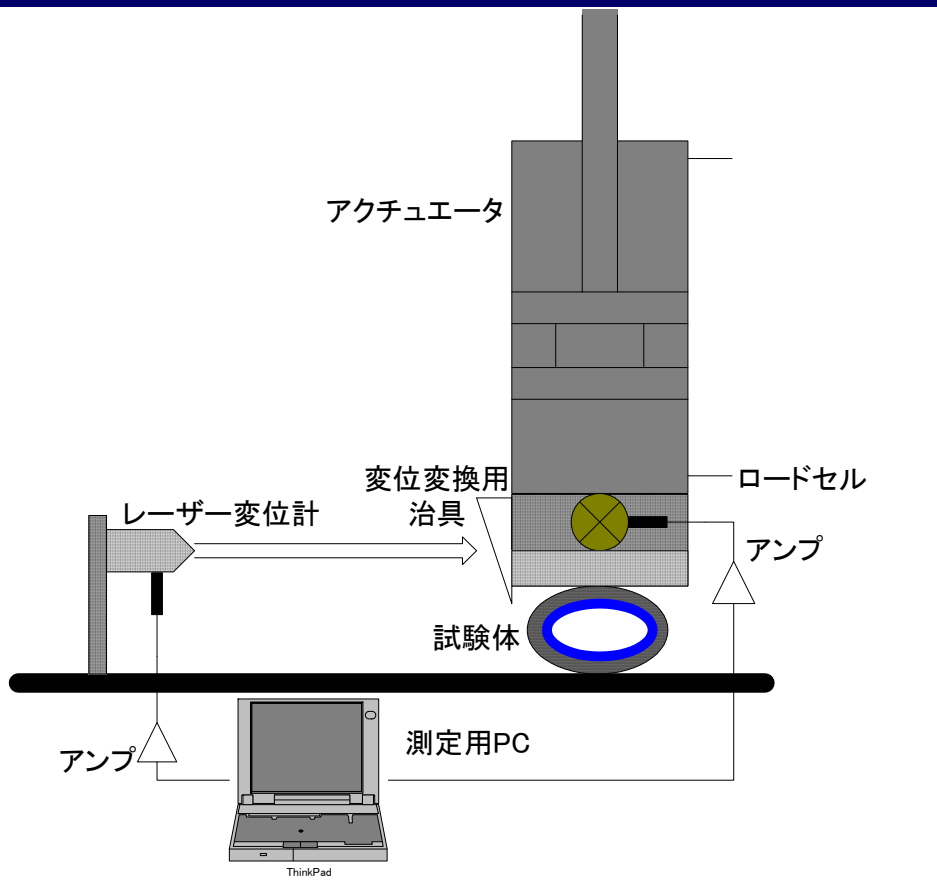
ゴム厚, 鋼管厚の寸法等を変えて再度静的載荷実験を行う

橋梁システム全体系の動的挙動にどのような役割, 効果をもたらすかについて検討



ゴム鋼併用タイプの緩衝材を有する免震橋の動的応答解析を行い, 実用性ならびに有効性を検証

実験概要



奥行き : 100mm

R_s	t_r	t_s
70	10, 20, 30, 40	4, 5, 6, 7
80	15, 25, 35, 45	4, 5, 6, 7
95	15, 25, 35, 45	8, 10
110	15, 25, 35, 45	8, 10

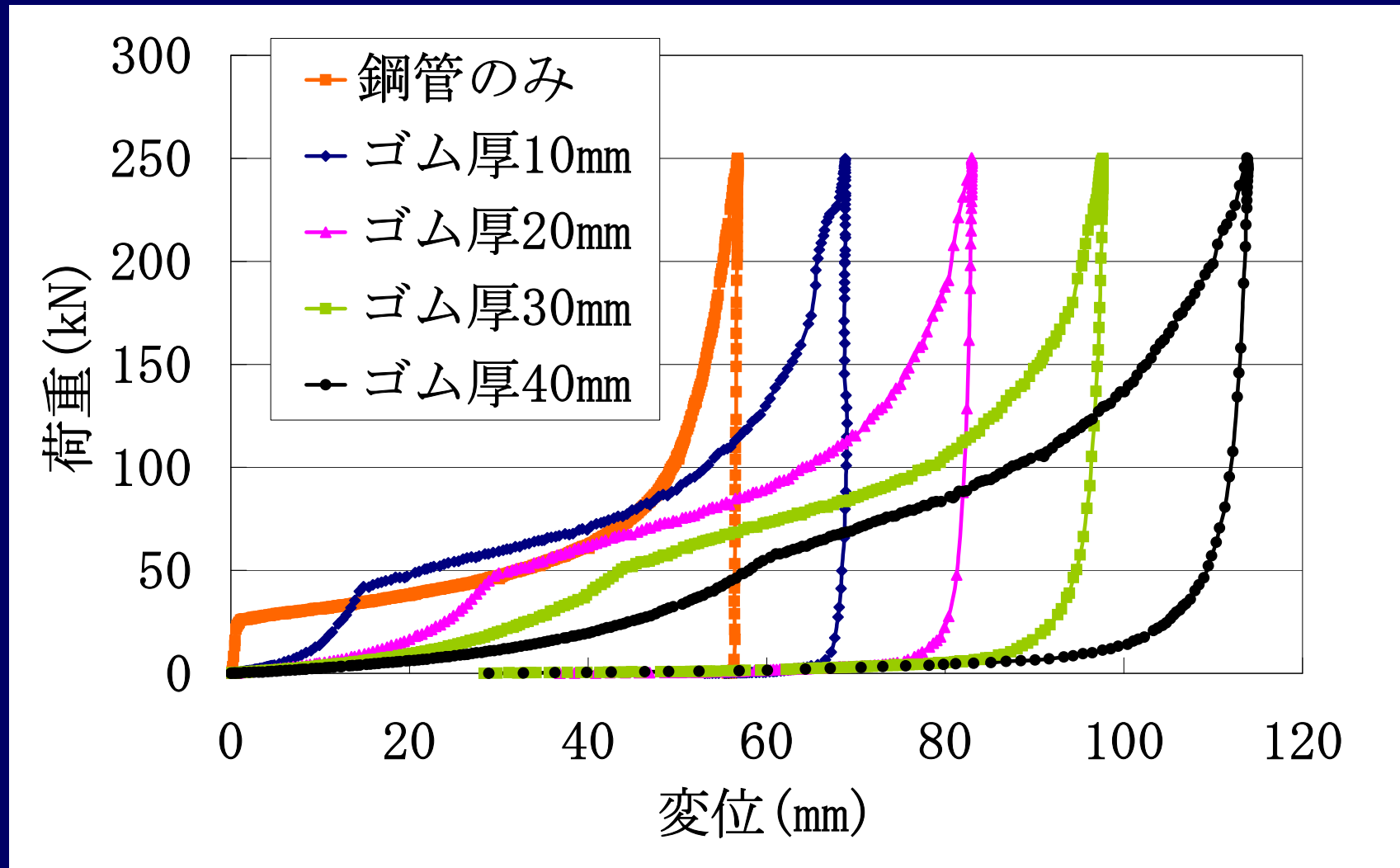
単位 : mm

12種類の寸法の鋼管にそれぞれ4種類の厚さのゴム

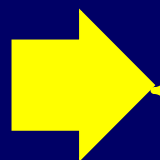
{ 鋼管:STKM13A
 ゴム:クロロプレンゴム(硬度60 ±5)

実験結果

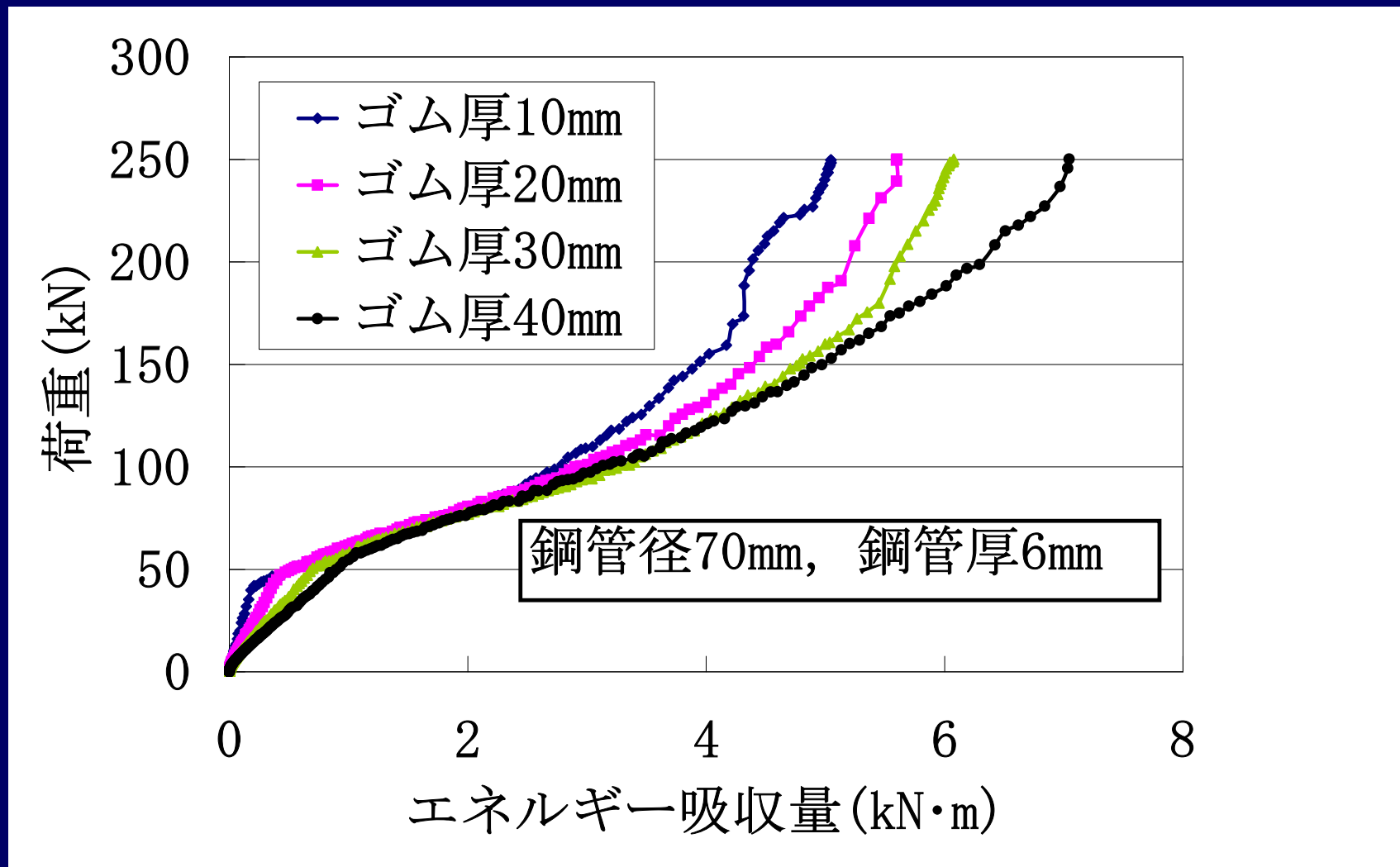
ゴム厚による比較



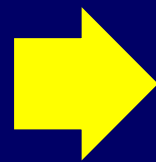
ゴム厚が大きくなる



- 降伏変位及び降伏荷重が増加
- 降伏後の剛性も徐々に増加
- 変位量が大きくなる



ゴム厚が大きくなる

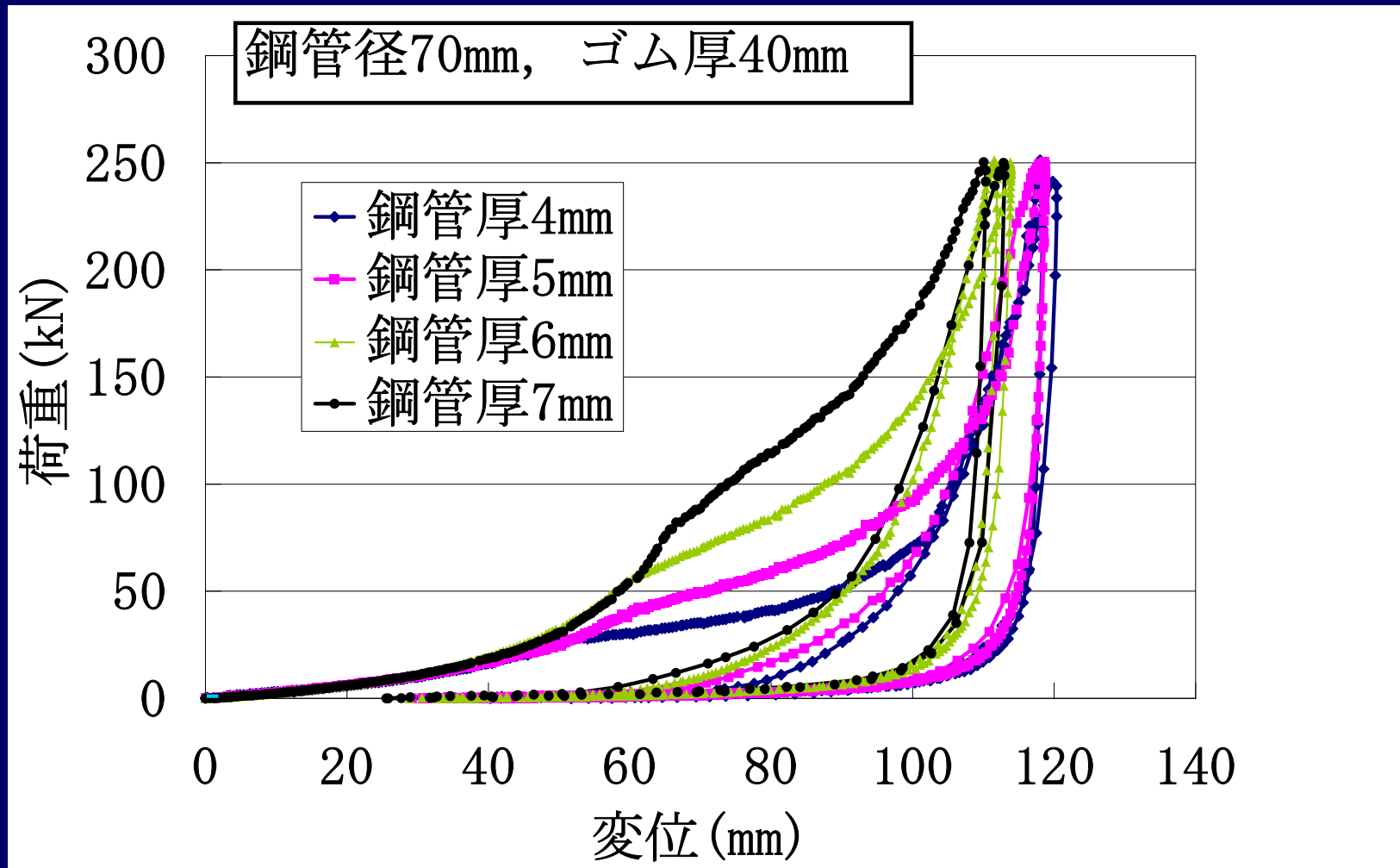


初期及び後期における
傾きが小さい

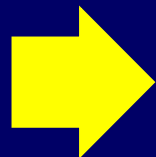
降伏前:ゴムが荷重を緩和, 僅かにエネルギー吸収

圧壊後:ゴムが衝撃緩衝材, エネルギー吸収材として残る

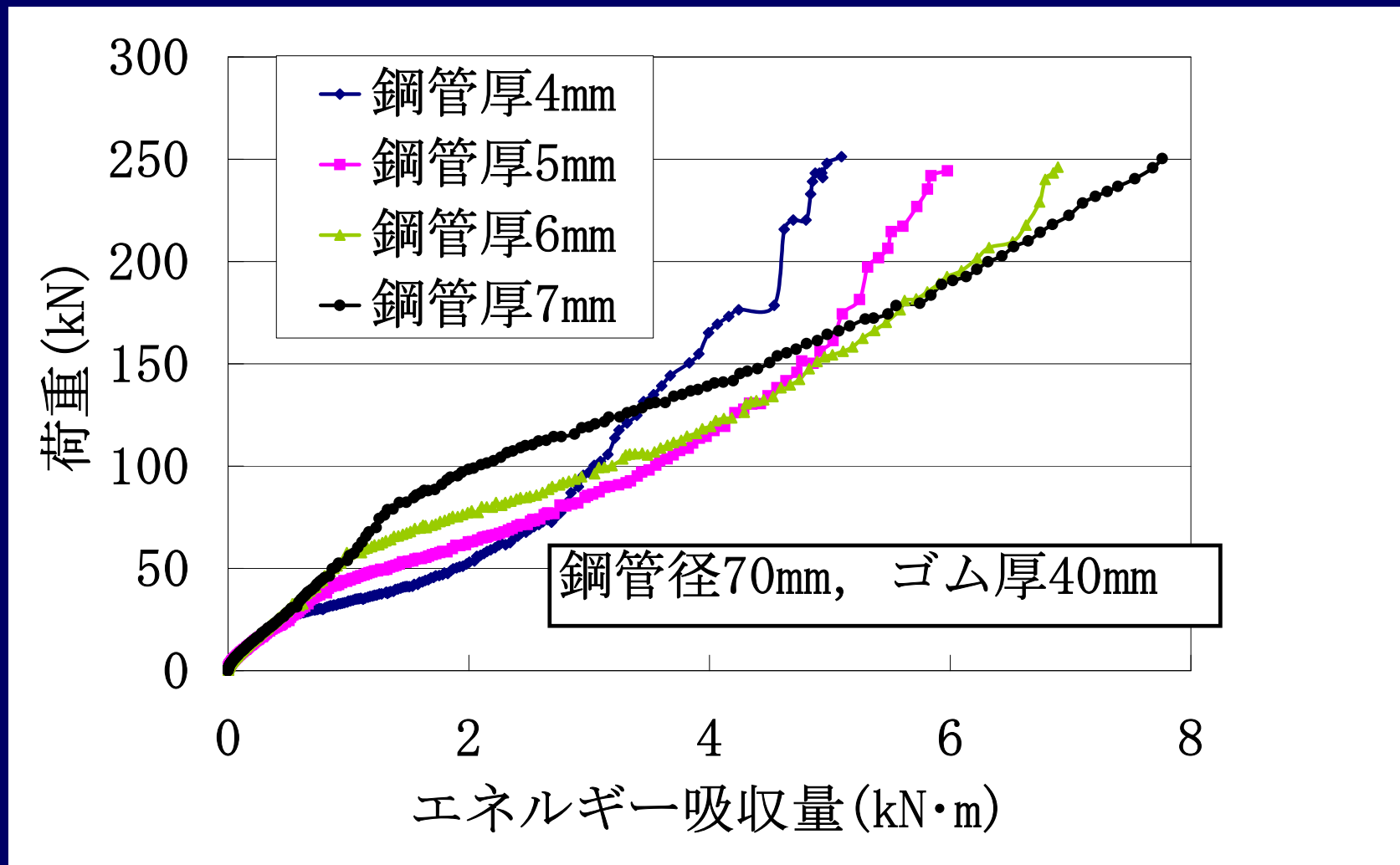
鋼管厚による比較



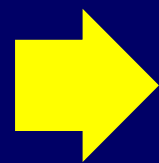
鋼管厚が大きくなる



- 降伏変位, 降伏荷重が増加
- 降伏後の剛性が増加
- 変位量が減少する



降伏するまで傾きが同じ
降伏後、傾きが小さくなる



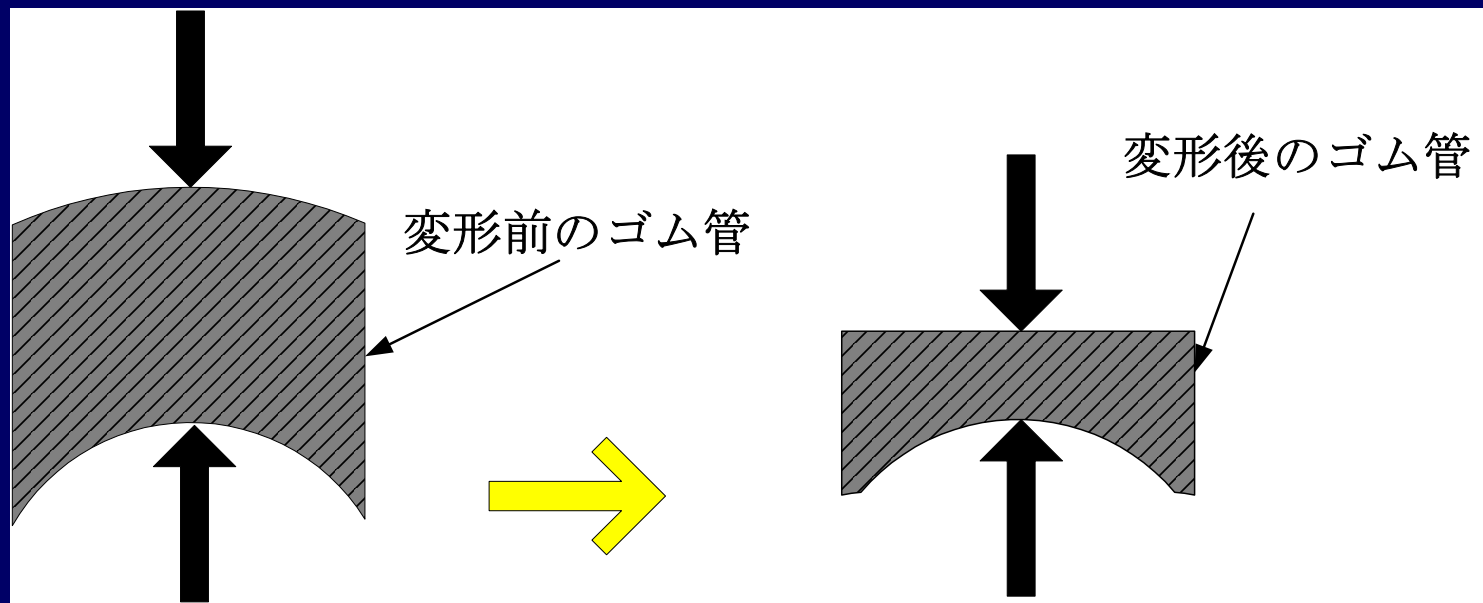
鋼管の塑性変形によって
エネルギーを吸収

鋼管厚が薄いと圧壊しやすく、鋼管厚が厚いと降伏しにくい

荷重-変位関係のモデル化

(1) ゴム管の圧縮変形特性

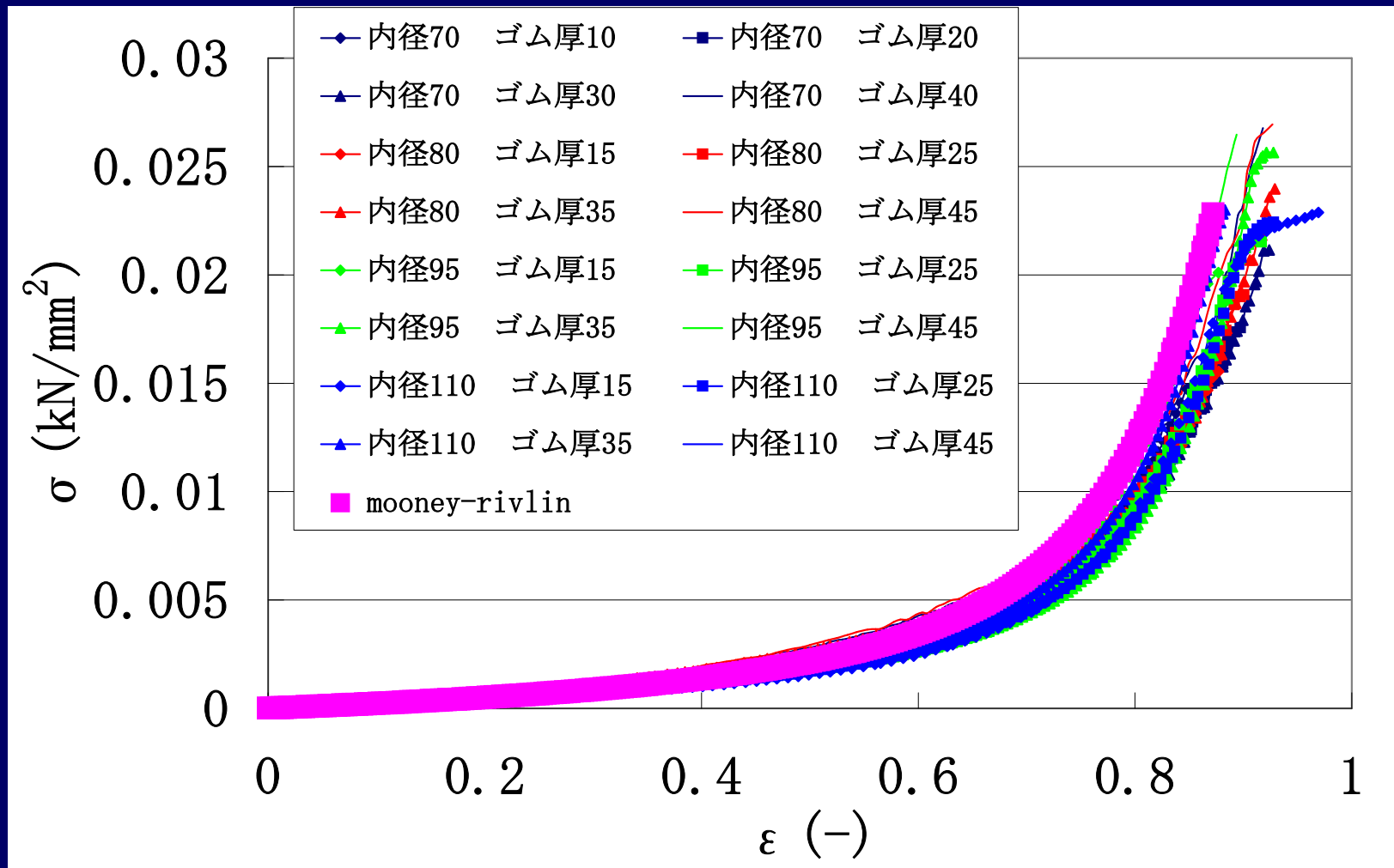
ゴム管の中に鋼柱を挿入して静的圧縮試験



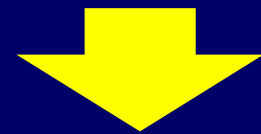
実験より得られた荷重と変位より

$$\sigma_{r1} = \frac{P}{R_i H}, \varepsilon_{r1} = \frac{\Delta}{2t_r}$$

ここで、 R_i はゴム管の内径、 t_r はゴム厚、 H は長さ



ゴム厚, 内径の大きさに関係なく同じ応力-ひずみ関係



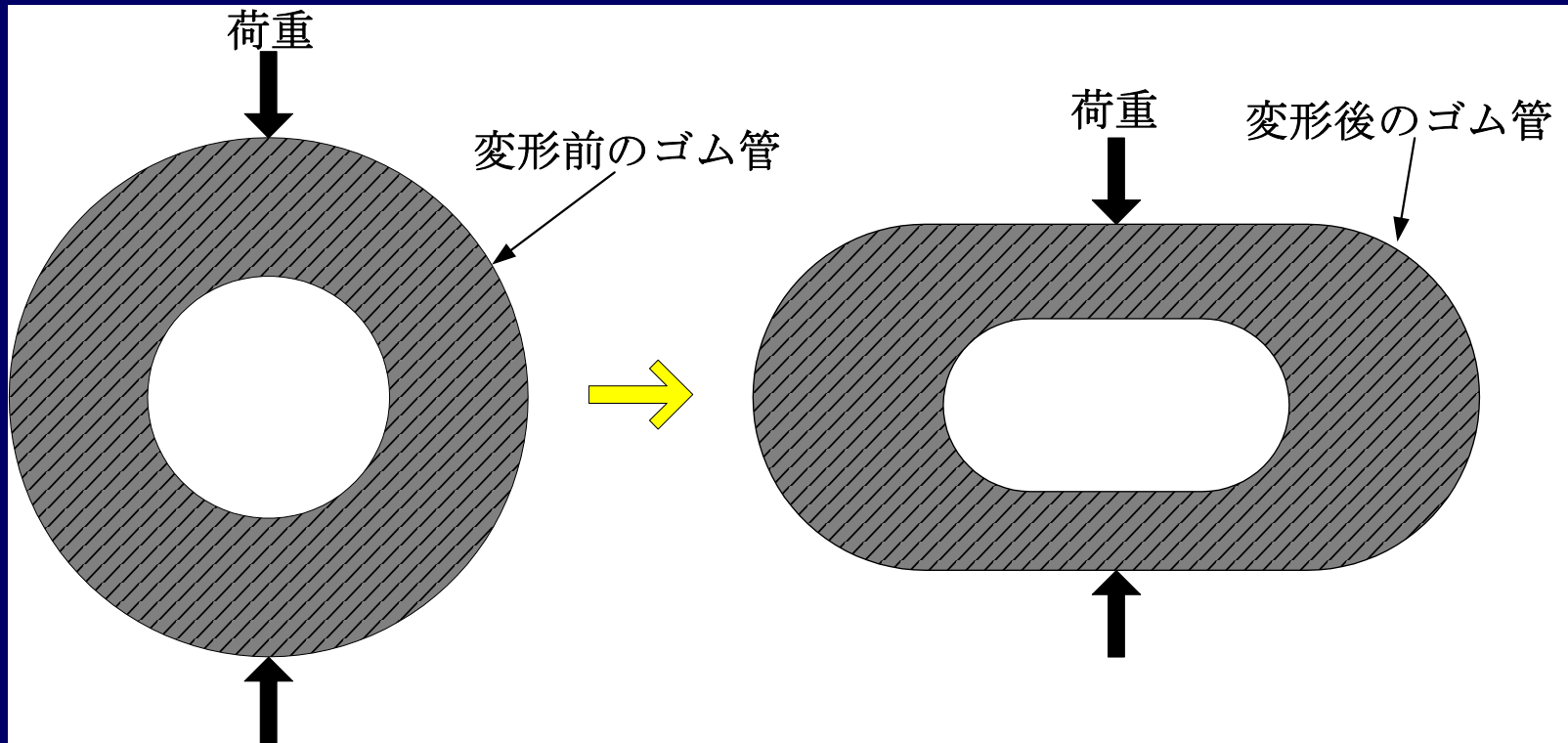
モデル化可能: Mooney-Rivlin式

(2) ゴム管の曲げ変形特性

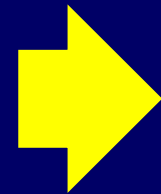
ゴム管単体の静的圧縮試験



曲げ特性を評価

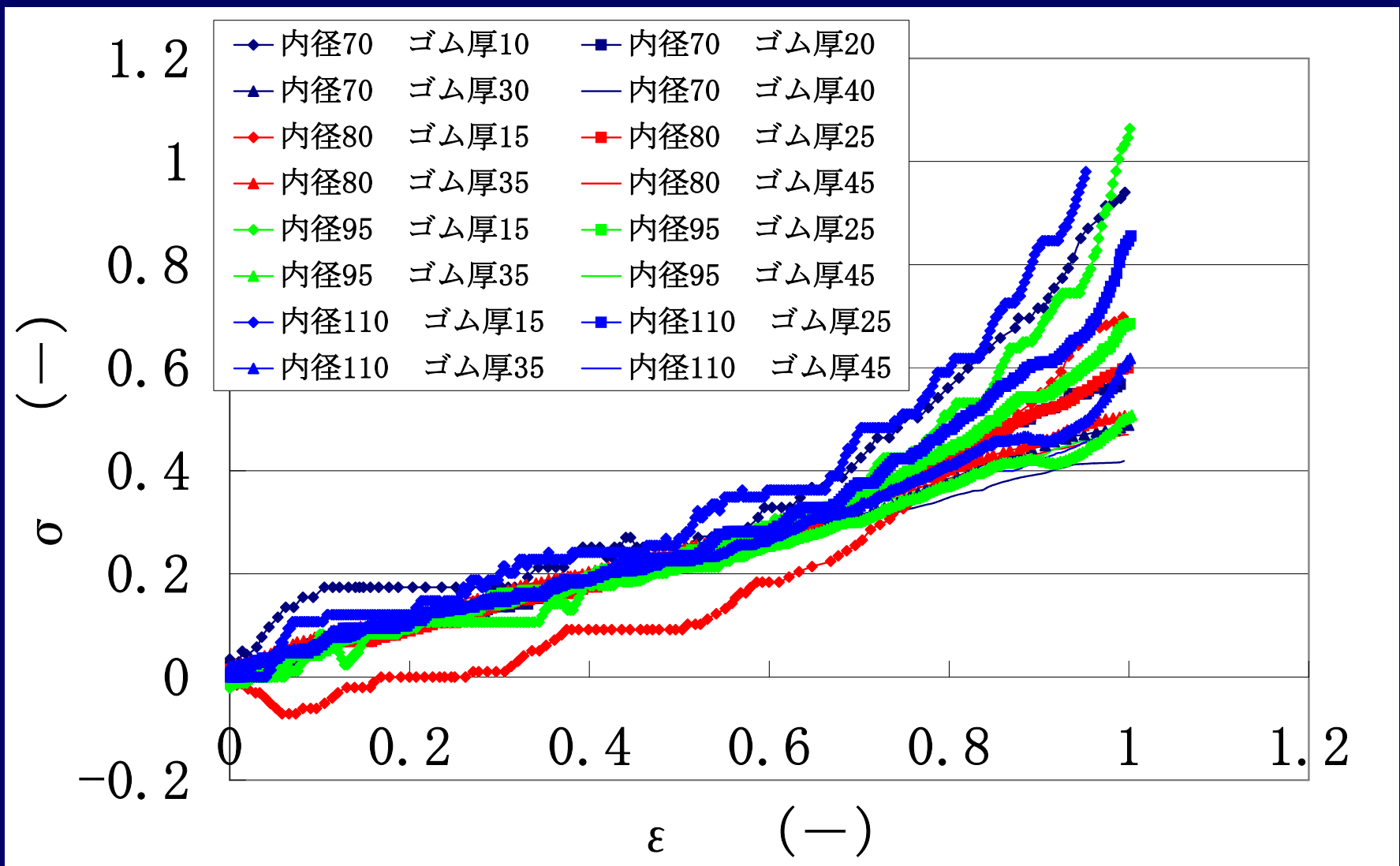


円形固定アーチの
弾性限界荷重算定式

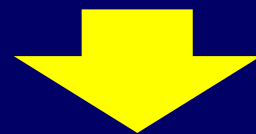


$$\sigma_{r_2} = \frac{PR_m}{Et_r^2 H}, \varepsilon_{r_2} = \frac{\Delta}{2R_i}$$

ここで、 E はゴムのヤング率(3.426 N/mm^2),
 R_m はゴム管の平均半径



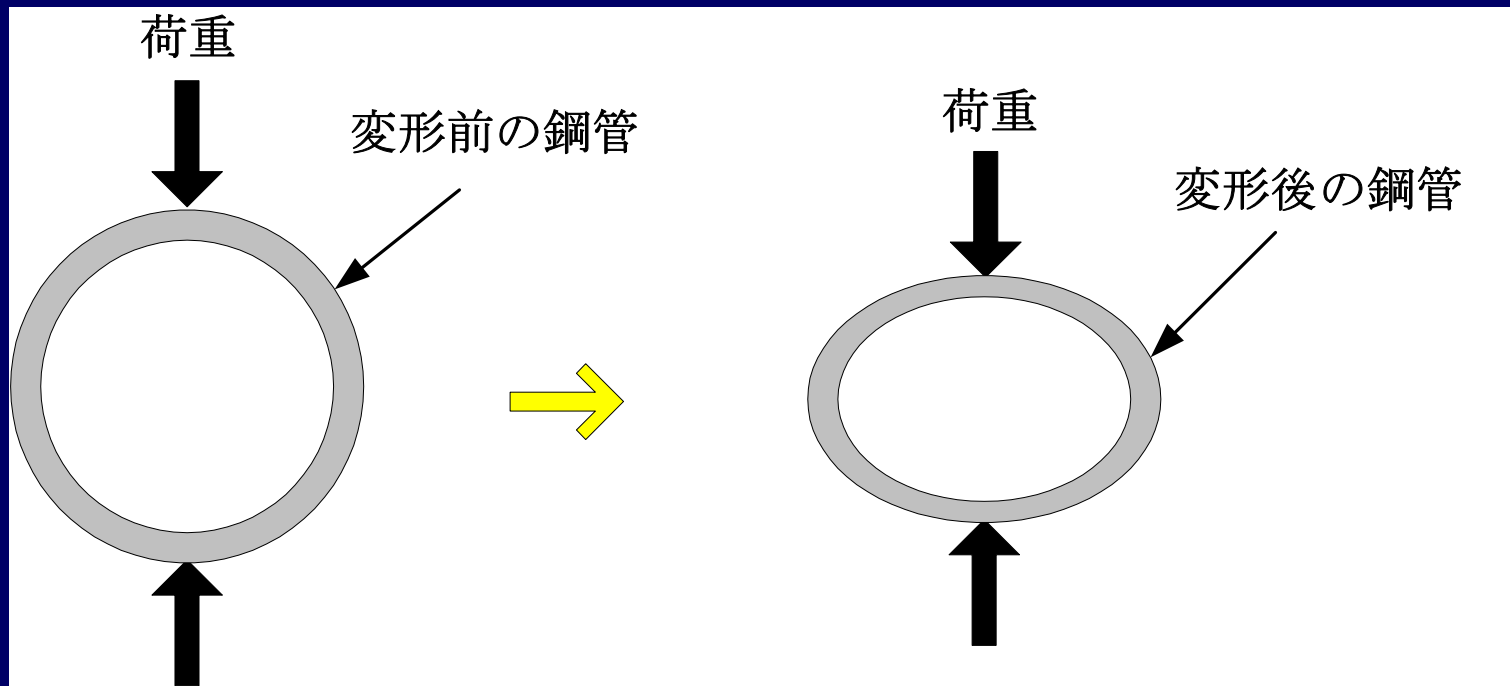
ゴム厚, 内径の大きさに関係なく同一直線上にある



ゴムの曲げ特性を評価できる

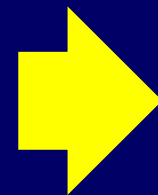
(3)鋼管の曲げ変形特性

鋼管単体の静的圧縮試験



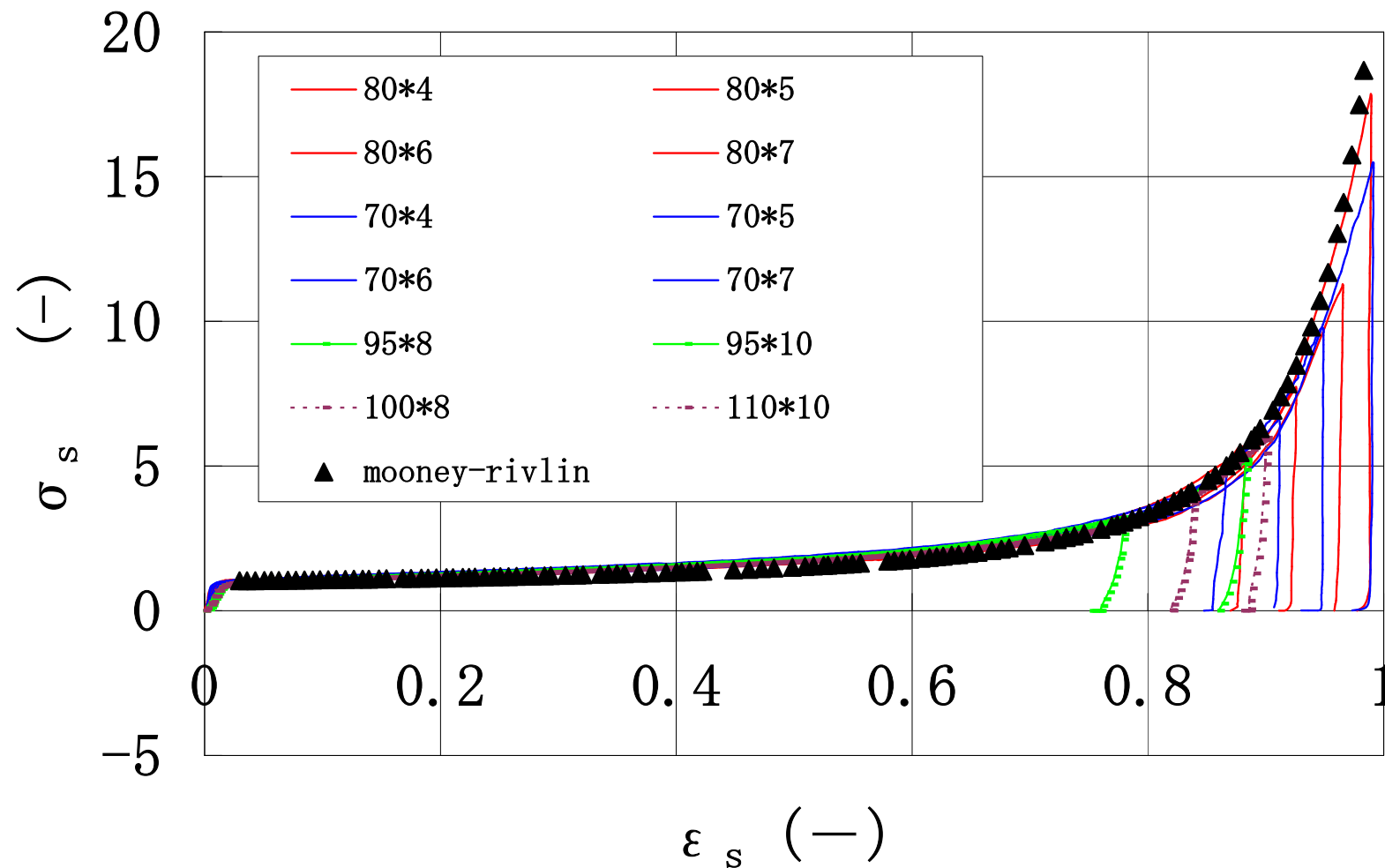
降伏応力を用いて無次元化

リングに働く曲げ応力を降伏荷重で除した



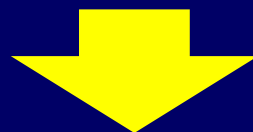
$$\sigma_s = \frac{1.91PR_{ms}}{\sigma_y t^2 H}, \varepsilon_s = \frac{\Delta}{2R_{is}}$$

ここで、 R_{ms} は鋼管の平均半径、 σ_y は鋼管の降伏応力、 t は鋼管厚、 R_{is} は鋼管の内径



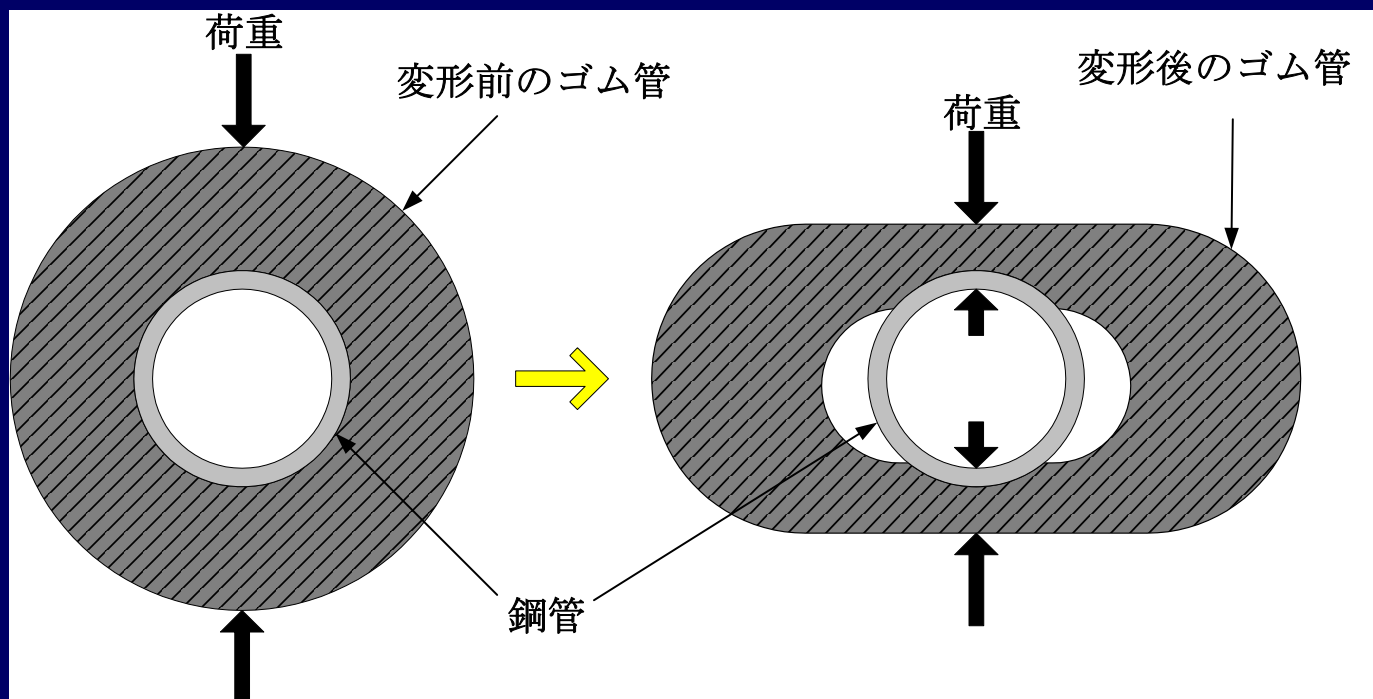
鋼管厚, 外径の大きさに関係なく同一直線上にある

モデル化可能



Mooney-Rivlin式(降伏後の荷重増加分と塑性変形関係)

(4) ゴムから鋼管への力の伝達特性



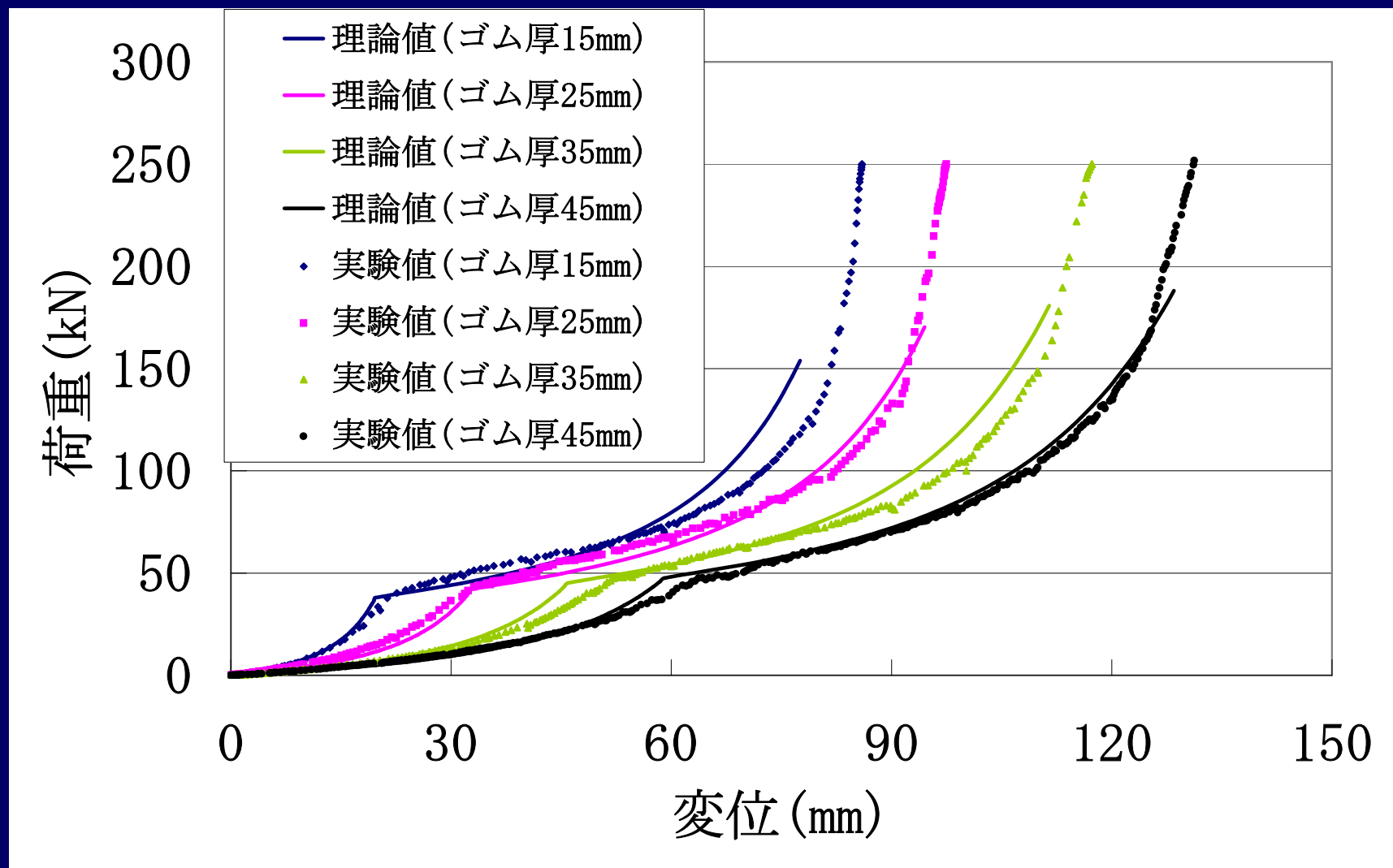
荷重が分布して伝わる

分布範囲が大きくなるほど鋼管に伝わる曲げモーメントが小さくなる

ゴム厚が増すほど、分布範囲が大きくなり
見かけ上鋼管の降伏荷重が増加

実際の分布範囲を係数 β を用いて評価した

モデル化の精度(载荷部分)

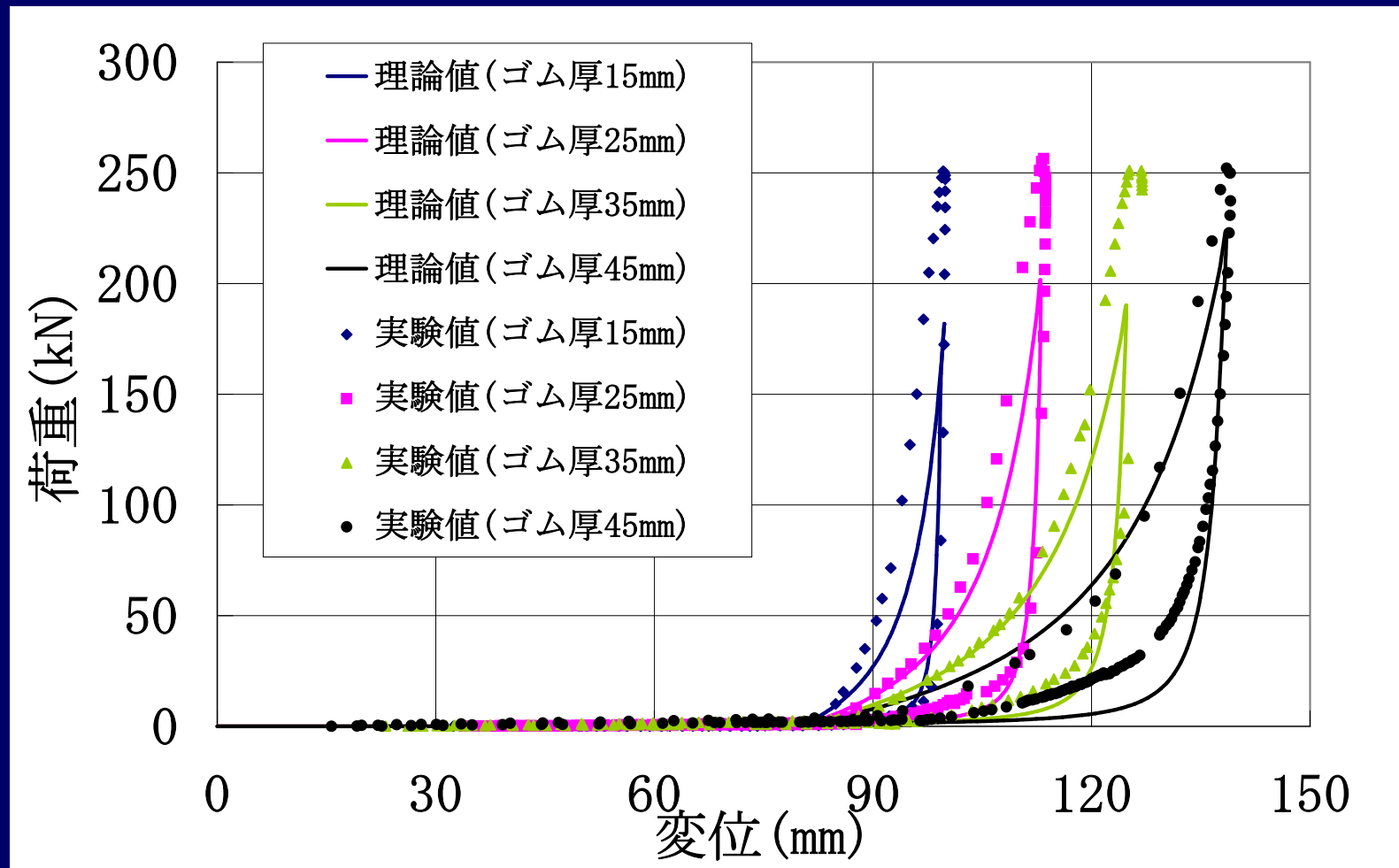


比較的, 精度良くモデル化できている

分布範囲を表す係数 β について今後検討する必要

(5) ほぼ直方体形状につぶれたゴムの圧縮変形特性 ゴム管単体の静的圧縮試験

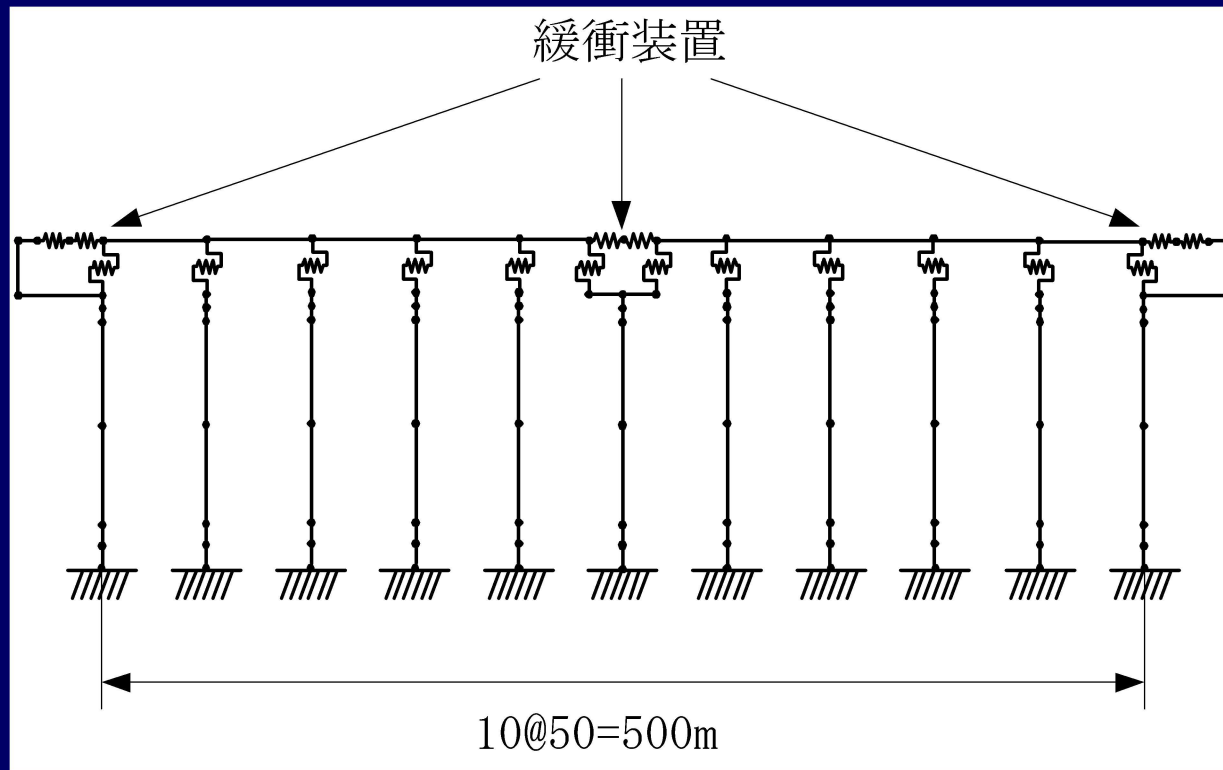
ゴム管の内径の93%~98%程度まで変形した時点を目安



除荷時と再載荷時のモデルは実験値によく近似している

動的応答解析

非線形2次元骨組時刻歴応答解析



対象構造物：橋脚高さ20m，支間長50mの5径間連続橋が
2連つながった長大免震橋

橋台を想定して両端の橋脚を剛体とした

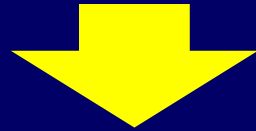
緩衝材の設置箇所：桁間部と両橋台部の3カ所に設置

入力地震波：振幅300gal，周波数1.0Hzの正弦波

緩衝材及び衝突のモデル化

ゴム鋼併用タイプの緩衝材

ゴム管と鋼管の静的載荷時の荷重-変位関係

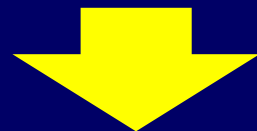


2つのバネ(非対称トリリニアモデル)を伝達荷重が等しくなるように直列に配置

個数については剛性を個数倍にしていくことで考慮

緩衝材と桁との隙間

衝突と隙間を表現する



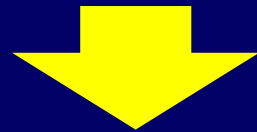
仮想的な非線形弾性バネを挿入

解析条件

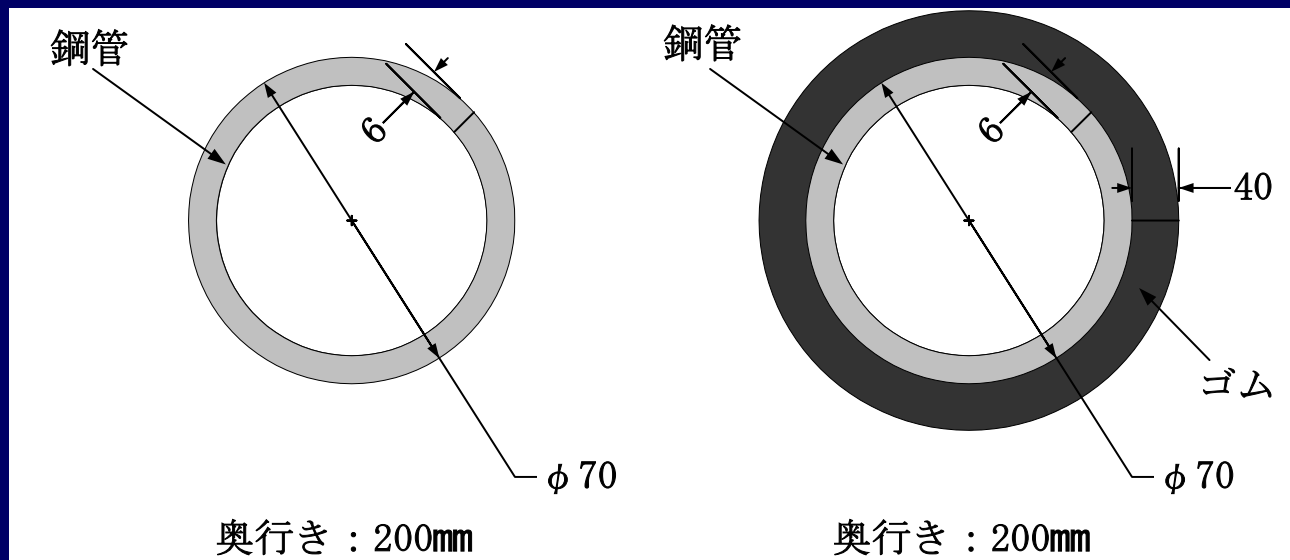
緩衝材: 外径70mm, 厚さ6mmの鋼管 (O-0)

上記の鋼管に厚さ40mmのゴムを巻いたもの (O-40)

緩衝材の長さ(奥行き)を実験値の2倍を想定



剛性及びエネルギー吸収量は2倍になるとした



遊間: 免震設計マニュアル及び想定している緩衝材O-40の外径が15cmより遊間を15cm又は20cmとした

緩衝材の個数:

構造上設置可能だと思われる最大個数

大体O-0は71個, O-40は33個

桁の最大応答速度を想定して桁の運動エネルギーを計算

直接, 緩衝材だけで桁の運動エネルギーを吸収する場合

必要となる個数は大体O-0は65個, O-40は44個

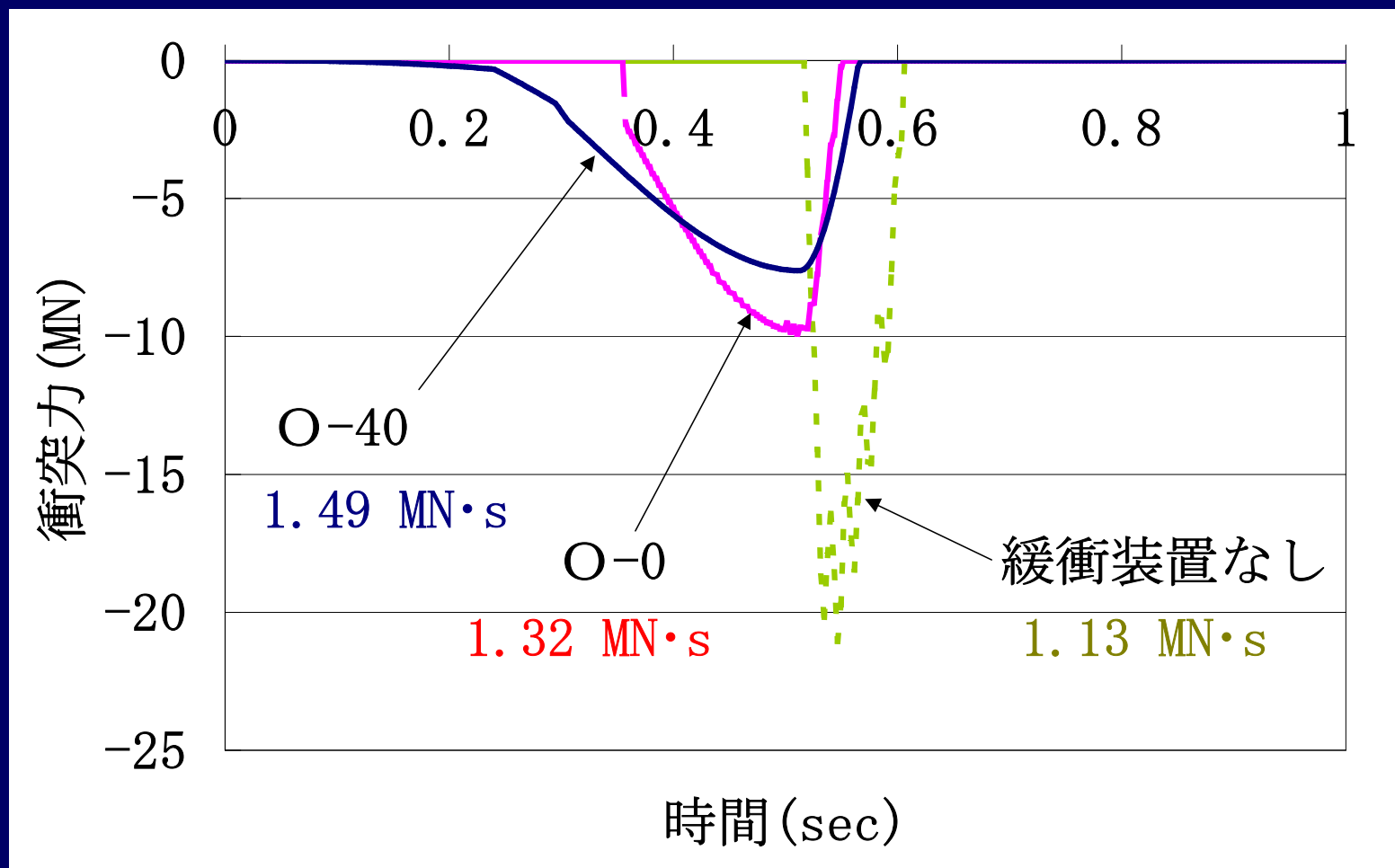
落橋防止構造の分担率を考慮した場合

必要となる個数は大体O-0は16個, O-40は11個

以上から, 緩衝材の個数を15, 30, 45個と想定した

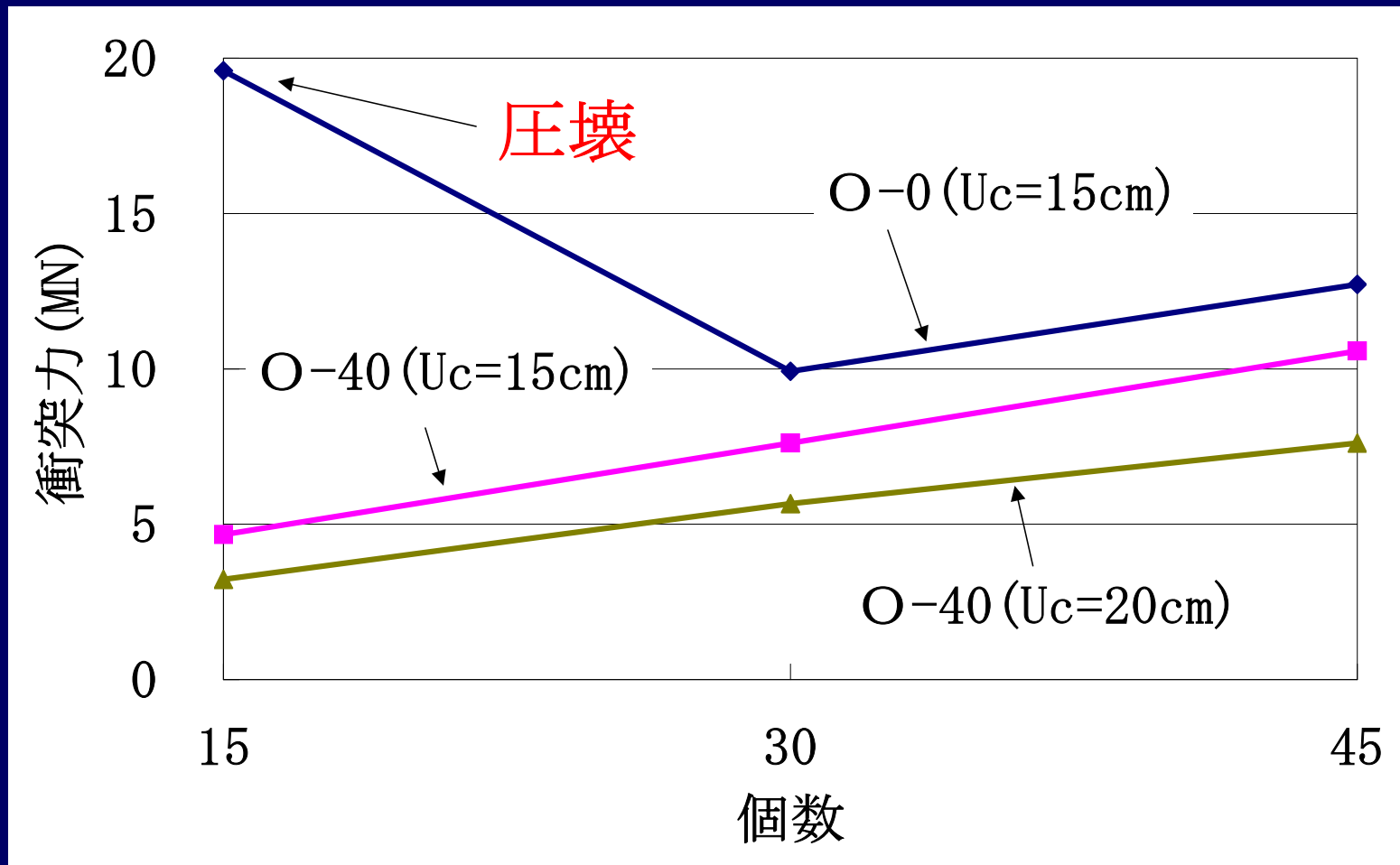
解析結果および考察

ゴム鋼併用タイプ緩衝材の緩衝効果



- 急激な衝突力の上昇を抑えている
- 緩衝装置として機能時間が長い

個数及び遊間の違いによる比較



- O-40は15個でも圧壊せず，O-0と比べ衝突力が小さい
- 遊間が広くなると，衝突力が小さくなった

緩衝材のエネルギー吸収効果

緩衝材及び遊間	個数	総吸収エネルギー量 (kN・m)	吸収率	
			分担して吸収	直接に吸収
0-0 (Uc=15cm)	15	153	1.22	0.29
	30	271	2.17	0.52
	45	290	2.32	0.56
0-40 (Uc=15cm)	15	229	1.83	0.44
	30	302	2.42	0.58
	45	386	3.09	0.74
0-40 (Uc=20cm)	15	107	0.86	0.21
	30	163	1.30	0.31
	45	194	1.55	0.37

$$\text{吸収率} = \frac{\text{総吸収エネルギー量}}{\text{必要とされるエネルギー吸収量}}$$

直接、緩衝材でエネルギーを吸収するのは難しい

緩衝材の動的特性が他に与える影響

解析条件	桁の応答変位 (cm)	桁の応答加速度 (cm/sec ²)	作用する衝突力 (MN)
衝突なし	+13.0	+235	0
	-16.4	-223	
緩衝材なし	+18.7	+2527	21
	-15.7	-2315	
O-0 (Uc=15cm)	+18.2	+958	10
	-12.8	-890	
O-40 (Uc=15cm)	+15.3	+418	7.6
	-11.6	-396	
O-40 (Uc=20cm)	+17.0	+415	5.7
	-14.5	-391	

桁が開く方向(プラス側), 桁が閉じる方向(マイナス側)

衝突による桁の離反応答が増加するのを制限している

結論

- 衝突力を低減でき、エネルギー吸収量が大きい。
- ゴムの性質より、緩衝材としての機能時間が長い。
- 衝突による桁の応答の増加を抑えることができる。
- 緩衝材の変形量が小さい場合、ゴムのみが機能するためエネルギー吸収量及び衝突力は小さくなる。
- 衝突前の桁の最大応答速度が分かれば簡単な計算で必要とする緩衝材の個数を設定することができる。
- 緩衝材だけで桁の運動エネルギーを吸収することは非合理的である。