橋梁用ゴム部材耐震緩衝材の温度環境下における基礎的機能特性の研究

北見工業大学大学院　学生員　○若杉　洋
北見工業大学　フェロー　大島　俊之
北見工業大学　正会員　山崎　智之
(株)日米ゴム　正会員　潤田　久也
(株)ブリヂストン　正会員　中村　昌弘

1. まえがき

兵庫県南部地震以降、耐震性向上のため免震支承を有する高架橋が増えている。免震橋の設計においては、上部構造の応答加速度を低減できるというメリットがある一方、橋桁の移動変位が増大するという性質を有しているため、桁と橋台の衝突が生じる恐れがある。地震により桁が橋台へ衝突するときには非常に大きな衝突力が発生すると考えられるため、ゴムなどの緩衝材を設置することにより桁端部の損傷を防ぐことが検討されている。しかし、これらの緩衝材には 1 回の衝突エネルギー吸収をメインとした材料を採用することが多く、大規模な余震などを想定した復元性能を期待することはできない。そこで本研究では、復元性能が期待できかつ吸収エネルギー特性に優れた高硬度ゴムを用いて温度による緩衝材効果の影響度を把握するため低温も考慮に入れた条件下で、圧縮回数 10cycle の一軸圧縮実験を行った。また、実験 2 時間後に同じ実験条件、同じ供試体で再度実験を行うことにより緩衝材の復元性能についても検討を行った。

2. 実験概要

本研究の実験供試体は**図 1** に示すようにハの字に設置した高硬度ゴムを、上下の鋼板で挟んだものであり、ゴム材の寸法は 100H×100L×25t [mm]である。この供試体を載荷試験装置に設置し、鉛直方向一軸圧縮実験を実施した。実験条件として、環境温度（室温）：+23℃,0℃,-10℃,-30℃、周波数：0.01Hz, 0.1Hz, 0.5Hz、圧縮量：55mm、圧縮回数：10cycle とした。冷却時間は 12 時間以上とし、充分供試体内部温度が室温と同じ温度になるまで時間をおいてから実験を開始した。また、各温度での 0.5Hz においては 2 時間後に同じ実験条件、同じ供試体で再度実験を行った。これは、免震設計マニュアルを参考とし緩衝材としての『履歴経験に対する検討 [1)]』をするためである。

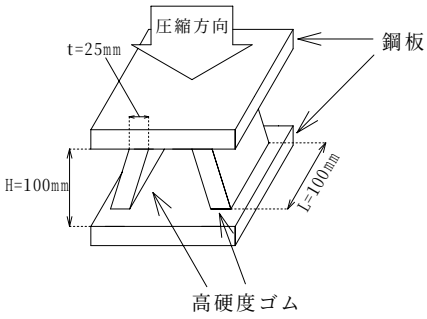

図 1. 実験供試体

3. 実験結果・考察

図 2 に周波数 0.5Hz、温度+23,-30℃時の荷重－変位曲線を示す。**図 3** には実験から得られた最大荷重 R_{MAX}[kN]、吸収エネルギー⊿w[kN・mm]での cycle 毎の折れ線グラフを示す。また、吸収エネルギー⊿w は荷重－変位曲線で描かれるヒステリシスカーブのループ内面積としている。**図 2** から、圧縮試験により供試体の残留変位量は室温+23℃で 6.8mm、-30℃では 18.5mm である。このことより、温度低下に伴い復元力性能の低下がわかる。また室温 23℃と-30℃での各 cycle の比較においては、-30℃では 23℃に比べ、最大荷重は 2.6~3.3 倍大きな値となり、吸収エネルギー⊿w では 1.8~3.3 倍大きな値を示した。これは、温度低下に伴いゴム材の剛性が高くなることにより、最大荷重が増加し、また、最大荷重が増加することにより吸収エネルギー量が増大していることがわかる。次に、実験 1 回目と実験 2 回目の 1cycle 目に注目すると、最大反力、吸収エネルギーはそれぞれ、23℃では 19.8%、64.1%減少、-30℃では 16.8%、63%減少するという結果となった。

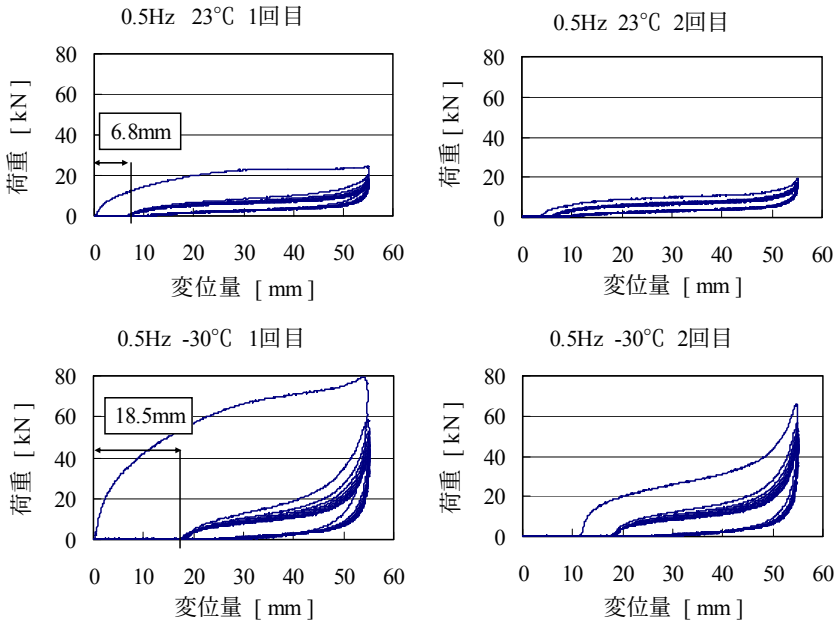

図 2. 荷重変位曲線

キーワード　ゴム製緩衝材、復元性能、低温環境、衝突解析
連絡先　〒090-8507　北海道北見市公園町 165 番地　TEL 0157-26-9488　FAX 0157-23-9408

4.桁と橋台の衝突解析

4.1　解析の目的

3.実験結果・考察で得られた荷重－変位曲線から、特に、環境温度：+23℃、-30℃、周波数 0.5Hz で行った実験の 1cycle 目の履歴曲線から非線形バネモデルを作成し、汎用構造解析プログラム MARC を用いて、桁と橋台の衝突解析を行った。支承や橋台を省略することにより、緩衝材の基礎的な効果を検討し温度環境下での性能の変化についても検討を行う。

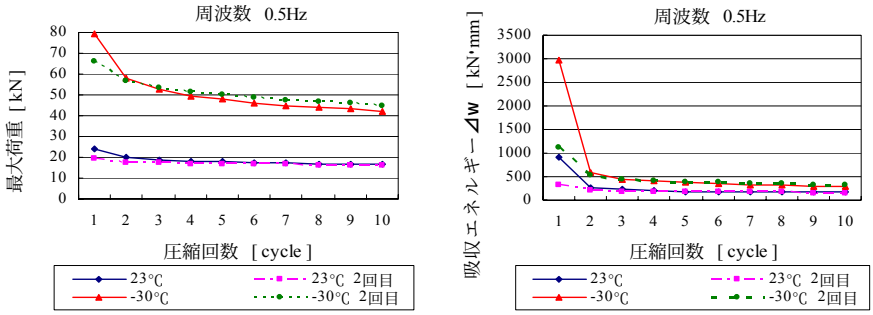

図 3.　サイクル毎の最大荷重及び吸収エネルギー

4.2　解析概要

解析モデル図を**図 4** に示す。解析モデルは橋長 30m、桁高 1.99m、床版厚 0.57m の単純桁橋の上部構造を簡素化した四辺形平面応力要素モデルで、総節点数は 119、要素数 85 となっている。緩衝材は実験で用いた供試体を 1152 基敷き詰めていると想定し、バネモデル化した。緩衝材バネモデルは**図 5** に示すような非線形なバネとし、これは“実験条件、環境温度+23℃、-30℃時、周波数 0.5Hz での実験 1 回目”から得られた荷重－変位曲線の 1cycle 目における履歴曲線をモデル化したものである。A~B,B~C,C~D 間をそれぞれ 1 次剛性、2 次剛性、3 次剛性とし、これを桁端部にバネ要素として 10 本設置しており、図中の表の値は衝突バネ 1 本当たりの剛性[MN/m]となっている。また、実験結果から緩衝材の圧縮変形量が 50mm 付近で大きな荷重が出始めていることから、緩衝材の圧縮変形量が 50mm を越えると緩衝材としての機能を十分果たすことができないと仮定し、3 次剛性は非常に大きな数値を設定している。上部構造の総重量は 9.72MN であり、この解析モデルの上部構造に周波数 0.5Hz、sin 波 1/2 周期分の加速度を橋軸水平方向に入力して、解析時間 1.5sec とした。時刻歴応答解析における数値積分にはニューマーク β 法（β=1/4）を用い、積分時間間隔は $\Delta t=5\times10^{-5}$sec とした。解析条件は、入力最大加速度を 200,300,400[gal]、遊間距離は 0,100,300[mm]として数値計算を行った。ただし、ここで言う遊間距離とは桁端と緩衝材バネが接触するまでの距離のことである（以下、遊間と呼ぶ）。

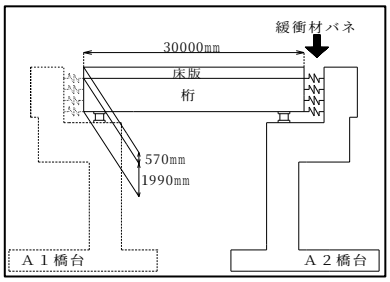

図 4.　解析モデル

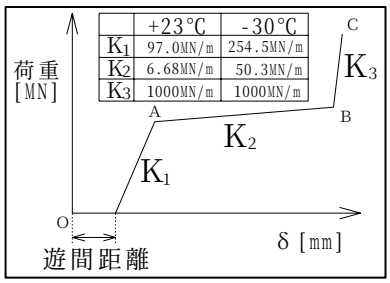

図 5.　緩衝材バネモデル

4.3　解析結果

表 2 に+23℃、-30℃時のバネモデルを用いた解析結果である上部構造最大変位量、緩衝材最大変形量、衝突バネ最大作用力を示す。最大入力加速度 400gal、遊間 100mm の場合、緩衝材変形量は -30℃では+23℃時の 56%に抑えることが出来たが、衝突力は 1.6 倍と増加する結果となった。また、+23℃で遊間 300mm の場合では 3 次剛性（緩衝材最大変形量が 50mm 以上）まで達したため-30℃時より大きな衝突力となった。また、+23℃で遊間 300mm では、最大加速度 300gal 時に 3 次剛性に達しているため、それ以上の入力加速度には緩衝材としての機能を十分に発揮できないといえる。

表 2.　+23℃、-30℃における解析結果

23℃	入力 最大加速度 [gal]	上部構造 最大変位量 [mm]	緩衝材 最大変形量 [mm]	衝突バネ 最大作用力 [MN]
遊間 0	200	2.39	2.39	1.64
	300	3.59	3.59	2.45
	400	4.78	4.78	3.27
遊間 100	200	120.7	20.7	20.03
	300	125.0	25.0	24.23
	400	128.7	28.7	25.31
遊間 300	200	336.2	36.2	25.81
	300	350.2	50.2	28.85
	400	355.1	55.1	76.89

-30℃	入力 最大加速度 [gal]	上部構造 最大変位量 [mm]	緩衝材 最大変形量 [mm]	衝突バネ 最大作用力 [MN]
遊間 0	200	0.92	0.92	1.49
	300	1.37	1.37	2.24
	400	1.83	1.83	2.98
遊間 100	200	112.0	12.0	30.42
	300	114.3	14.3	36.44
	400	116.2	16.2	41.17
遊間 300	200	320.6	20.6	52.33
	300	325.8	25.8	65.47
	400	329.8	29.8	75.59

0.56倍　1.6倍

5.　まとめ

本研究をまとめると次のようになる。 1) 今回検討した緩衝材の供試体寸法では製品高さの 50%程度まで緩衝材としての効果を発揮し、1cycle 目には大きなエネルギー吸収特性を示し、それ以降はやや右下がりのエネルギー吸収特性を示す。 2) 環境温度の低下に伴い、最大荷重及びエネルギー吸収は増加するが、復元性能が低下することにより緩衝材の残留変位量も増加する。 3) 緩衝材の剛性が高くなれば、上部構造の応答変位を軽減させることができるが、橋台へかかる衝突力は大きくなる。一方、緩衝材の剛性が低くなれば、上部構造の応答変位が大きくなるが、橋台へかかる衝突力は小さくなることが確認できた。今後、緩衝材としての機能特性を把握するため、解析条件を多様化させたデータ収集を行う予定である。

6.　参考文献

1) 建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)　財団法人土木研究センター、平成 4 年