大規模地震を経験した積層ゴム支承の残存耐震性評価に関する実験的研究

九州大学大学院　学生会員　○SUNG HYUNWOO　九州大学大学院　学生会員　岩本　周哲
ゴム支承協会　正会員　今井　隆　ゴム支承協会　正会員　植田　健介
九州大学大学院　正会員　山崎　智彦　九州大学大学院　正会員　崔　準祜

１．はじめに

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では，仙台東部道路を始め仙台北部道路や東水戸道路など，複数の道路橋においてゴム支承が破断や亀裂が生じる被害が発生した．橋梁被害調査報告書によれば，仙台北部道路の利府高架橋において，3 月 11 日の本震後の緊急点検では 3 基のゴム支承において破断が確認されていたが，4 月 7 日の余震（マグニチュード 7．4）後の点検では新たに 8 基のゴム支承の破断が報告されており [1)]，一度経験した大地震によりゴム支承の耐震性が劣っていた可能性も考えられる．そこで本研究では，大規模地震を経験した積層ゴム支承の残存耐震性を評価することを目的とし，積層ゴム支承（LRB，HDR-S，RB）について許容値前後の大ひずみによる水平方向正負交番繰り返し載荷実験を実施している．本報では，積層ゴム支承（以下，RB）に対する実験結果に基づき，ゴム支承の荷重-変位履歴，水平耐力，等価剛性，損傷状況等を分析し，繰り返し載荷回数がこれらゴム支承のせん断変形性能にどのような影響を及ぼすかを調査するとともに，繰り返し載荷が増えるにつれてゴム支承の外観上の損傷がどのように進展していくのか，ゴム支承が損傷後にどの程度の残存耐震性を有するかについて検討を行った．

２．実験供試体諸元および実験検討ケース

本実験に用いた供試体は 3 体であり，供試体寸法は著者らが事前に行った予備試験 [2)]に基づいて決定した．実験供試体の諸元を**表-1** に示す．平面寸法は 300mm ×300mm であり，総ゴム厚は 75mm の 5 層構造としている．本実験で用いた供試体は，ゴム単層が厚く一次形状係数が 4.68 と比較的低い．また，二次形状係数が 4.00 と比較的支承高が高く，地震時支持機能の観点からみると厳しい構造ではあるが，支承の設計基準である道路橋支承便覧 [3)]に定められている設計上の基準値を満たすものとなっている．このように本実験では，厳しい形状条件下における限界状態を確認するため，変状の出やすいものを採用した．

表-1　実験供試体の諸元

平面形状	(mm)	300×300
単層厚	(mm)	15
積層数	(層)	5
総ゴム厚	(mm)	75
鉛プラグ径	(mm)	—
鉛プラグ数	(本)	—
一次形状係数	—	4.68
二次形状係数	—	4.00
ゴム材の呼び	—	G12

表-2　載荷ケース

供試体No.		No.1	No.2	No.3
せん断ひずみ	(%)	±250% (100cycle載荷)	±250% (100cycle載荷)	±150% (100cycle終了後に±250%を10cycle)
1日の繰り返し回数	(回)	10	10	10
日数	(日)	10	10	11
合計繰り返し回数	(cycle)	100	100	110
軸応力	(MPa)	6	1	6
載荷速度	(mm/s)	0.5	0.5	0.5
インターバル	—	10cycle/日とし，各日，5cycleと6cycleの間に2時間程度のインターバルを設けている		

また，本実験の載荷ケースを**表-2** に示す．供試体 No.1 では，JIS の試験方法に基づき軸応力を 6MPa とし，せん断ひずみについては道路橋示方書Ⅴ編に定められているレベル 2 地震動に対する許容ひずみの上限値 250%（187.5mm）を 100 回繰り返し載荷した．橋梁の供用期間中にレベル 2 地震動により 250%相当のせん断ひずみが 100 回生じることは考えにくいが，厳しい載荷状況下においてゴム支承の変状や残存耐震性を評価することとしており，250%のせん断ひずみを 100 回繰り返し載荷することとした．供試体 No.2 では，RB の面圧依存性を評価することを目的とし，軸応力を 1MPa に変化させ，250%のせん断ひずみを 100 回繰り返し与えた．一方，供試体 No.3 では，レベル 1 クラスの地震を経験したゴム支承の残存耐震性を評価することを目的とし，せん断ひずみ 150%を 100 回繰り返し載荷した後，せん断ひずみ 250%を 10 回載荷した．

３．積層ゴム支承の残存耐震性評価

供試体 No.1～供試体 No.3 の荷重-変位履歴を**図-1～図-3** に，等価剛性（+側）を**図-4** に示す．これらの結果は，各載荷日の 5 サイクルと 10 サイクル目の応答をそれぞれプロットしたものである．まず No.1 においては，15 サイ

キーワード　積層ゴム支承，正負交番載荷実験，残存耐震性
連絡先　〒819-0395　福岡県福岡市西区元岡７４４番地　ＴＥＬ092-802-3374

写真-1　61 サイクル支承下面

写真-2　73 サイクル支承下面

クルまでは最大耐力が減少し等価剛性が低く評価されたが，それ以降は繰り返し回数が増えても最大耐力，等価剛性にほぼ変化がみられなかった．No.2 では，50 サイクルまでは最大耐力，等価剛性ともにさほど変化がみられなかったが，それ以降は徐々に最大水平耐力は減少し，等価剛性も減少していく傾向がみられた．また，61 サイクルからはゴム支承に亀裂が生じ，これが原因で最大耐力が急激に低下していった．No.3 においては，せん断ひずみ 150%を与えていた 1 サイクル～100 サイクルにおいて，最大耐力，等価剛性ともにほとんど変化が見られなかった．

次に損傷状況に着目すると，No.1 と No.3 においては，繰り返し載荷回数が増えても外観上にほとんど変化がみられず，高い耐震性能を有することがわかった．一方，No.2 に関しては，61 サイクル載荷時に支承下面において初めて亀裂が確認され（**写真-1** 参照），61 サイクル以降は，支承下面と支承側面において亀裂が進展していき，73 サイクル載荷時に下プレート付近の鋼板周辺の積層ゴムにおいて破断が生じ，上下が完全に分離した（**写真-2** 参照）．こうしたゴム支承の亀裂進展が，上述したように**図-2** と**図-4** に示す最大耐力と等価剛性の変化に大きく影響していることがわかる．また，亀裂発生後は，ゴム支承が完全に破壊するまでは 10 サイクル程度の載荷を要しており，ゴム支承に亀裂が見られたとしてもすぐには破壊に至ることはなく，L2 クラス地震動を 10 回程度受けても破断しない程度の変形性能を有していることがわかった．

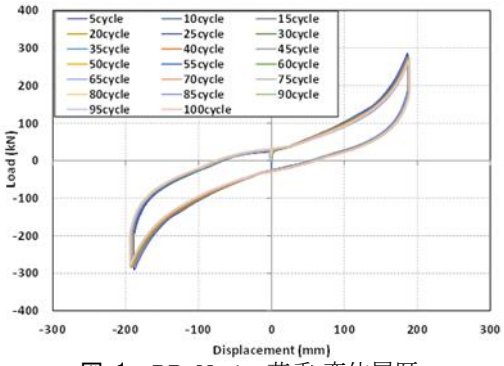

図-1　RB_No.1　荷重-変位履歴

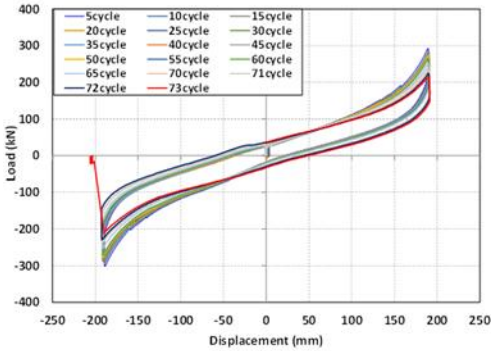

図-2　RB_No.2　荷重-変位履歴

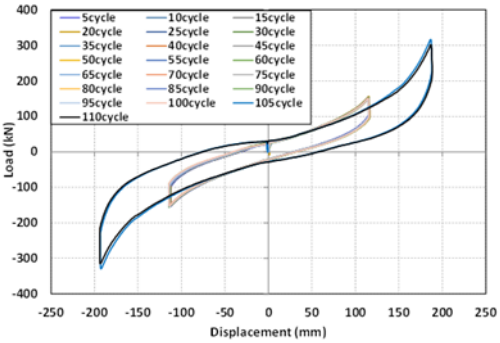

図-3　RB_No.3　荷重-変位履歴

4．まとめ

積層ゴム支承に対し許容値前後の大ひずみによる水平方向正負交番繰り返し載荷実験を実施した結果，No.1，No.3 に関しては，繰り返し回数が増えても最大水平耐力，等価剛性，外観にほぼ変化がなかった．一方，RB に対し低軸応力を与えた No.2 の場合は，250%のせん断ひずみを 61 回与えた際亀裂が生じ，それに伴いゴム支承の水平耐力や等価剛性が低下した．しかし，その後すぐに破壊することなく，しばらくは残存耐震性を有していることが確認できた．なお，本実験で用いた載荷装置は水平載荷時にゴム支承の回転を完全に制御することができないため，低軸応力時にゴム支承に引張が生じやすくなっている．今後，引張が生じない二軸載荷試験により機差確認を実施し，その影響について後日報告する予定である．

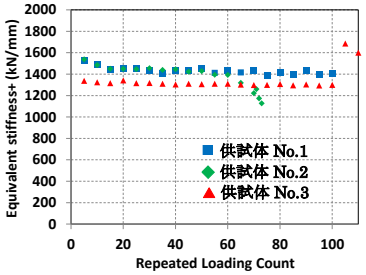

図-4　RB_No.1~No.3　等価剛性

参考文献

1)　公益社団法人土木学会：東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会最終報告書，2015.

2)　植田健介，今井隆，崔準祜：積層ゴム支承の水平方向大ひずみ正負交番繰り返し載荷実験，第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム，pp.221-226，2015.

3)　(社)日本道路協会：道路橋支承便覧，2004.