

鉛プラグ増量によるLRBの高性能化による サブストラクチャーハイブリッド実験と評価

横川英彰¹・高橋良和²・仲村崇仁³・宇野裕恵⁴・下田郁夫⁵・家村浩和⁶

¹正会員 工修 オイレス工業株式会社 免制震カンパニー支承設計部
(〒105-8584 東京都港区浜松町1-30-5)

²正会員 博士(工学) 京都大学大学院都市社会工学専攻 助手 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 オイレス工業株式会社 免制震カンパニー技術開発部 (〒326-0327 栃木県足利市羽刈町1000)

⁴正会員 工修 オイレス工業株式会社 免制震カンパニー支承統括部
(〒105-8584 東京都港区浜松町1-30-5)

⁵正会員 工博 オイレス工業株式会社 免制震カンパニー
(〒105-8584 東京都港区浜松町1-30-5)

⁶正会員 博士(工学) 京都大学大学院都市社会工学専攻 教授 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

1. はじめに

コスト縮減は時代の要請であることが叫ばれている。橋梁の耐震設計を考えた場合、免震支承の導入は長周期化や、橋脚の塑性化の抑制など様々な利点があることが知られている。しかしながら、免震設計は地震の上部構造変位の増大などで、ジョイント部の移動量増大や、けた間衝突などの新たな問題が発生している。これらは、免震支承の減衰特性を改善できれば問題が解決できると考えられる。

ここでは、LRB(鉛プラグ入り積層ゴム支承)の鉛プラグ径を増大させて、減衰特性を改善をおこなった。このLRBを用いて、橋脚と支承の最適化を行なうために、橋脚を含めたサブストラクチャーハイブリッド実験を行なって評価を行なった。

2. 構造諸元

サブストラクチャーハイブリッド実験を行なう際の想定した諸元は、以下の(1)～(3)に示すような条件・手順で決定し、(4)に示すような供試体とした。

(1)対象構造の立地条件

対象構造は一般的な都市高架橋を想定し、以下に示すような条件とした。

地域区分:A区分

地盤種:Ⅱ種地盤

(2)対象構造の設計手順

a)上部構造質量

上部構造の質量は鉛プラグ面積比率(AP/AR)を15%とした時のゴムの圧縮応力度を $7.2(\text{N}/\text{mm}^2)$ と仮定し、そこから支承一つあたりの最大反力 $R_{\max 1}$ を求める。

$$A_R \times 7.2 = R_{\max 1} \quad (1)$$

$R_{\max 1}$ を支承個数 n 倍することにより、橋脚上の最大反力 $R_{\max a}$ が求められる。

$$R_{\max 1} \times n = R_{\max a} \quad (2)$$

次に、これを、式(3)で示される α を導入する。

$$R_{\max a} / Wu = \alpha \quad (3)$$

ここで、 Wu は橋脚上の総死荷重反力である。この式から、総死荷重反力は

$$R_{\max a} / \alpha = Wu \quad (4)$$

ここで求めた死荷重反力 Wu を上部構造の振動質量として計算を行なう。

支承の設計も $R_{\max 1}$ に基づいて設計を行なった。

b)下部構造質量

下部構造の質量 Wp は式(5)のように示した。

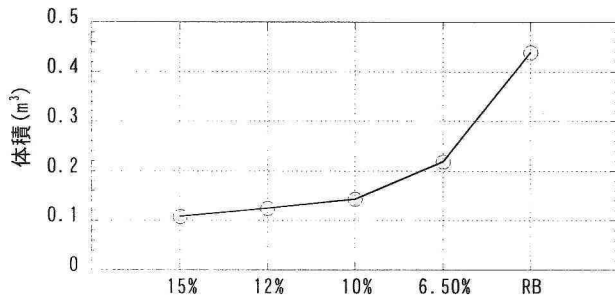
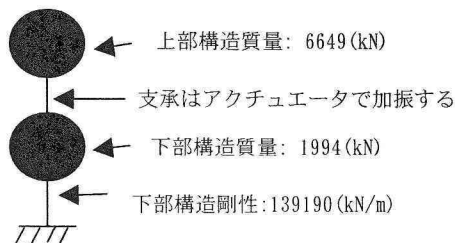


図-1 LRB・RB の体積比較

表-2 設計された構造系パラメータ

上部構造質量(Wu)	kN	6649
下部構造質量(Wp)	kN	1995
下部構造剛性(Kp)	kN/m	139190
支承固定時周期	sec	0.5



※下部構造は、武田型バイリニアモデルを用いる

図-2 実験に用いる解析モデル

$$Wp = 0.3 \times Wu \quad (5)$$

とした。

c) 下部構造剛性

橋脚の剛性 Kp は、支承部固定時の周期 T から

$$\left\{ \frac{(Wp + Wu)}{g} \right\} \times \frac{(2 \times \pi)}{T} = Kp \quad (6)$$

のように算出した。なお、 g は重力加速度である。

式(1)～式(6)に基づいて設計した構造系パラメータを表-2に示す。

d) 支承の設計

2次形状係数を8程度で設計を行ない、 $\alpha=1.7$ とした場合の反力で設計をおこなった。地震時状態の設計は時刻歴応答解析で行ない、下部構造弾性状態でせん断ひずみ250%以下になるような形状で設計した。

(3) 設計の結果

以上のことから決定した支承形状を表-1に示す。また、ゴムのみの体積を図-1に示す。図-1から、過去にLRBで多く使われた鉛プラグ面積比率6.5%と鉛プラグ面積比率12%を比較すると約半分の体積とな

表-1 設計された LRB・RB

鉛プラグ面積比率	-	AP/AR	15%	12%	10%	6.50%	RB
橋軸方向寸法	(mm)	a	950	1000	1050	1200	1700
橋軸直角方向寸法	(mm)	b	950	1000	1050	1200	1700
1層厚	(mm)	te	24	25	26	38	42
層数	-	ne	5	5	5	4	5
総ゴム厚	(mm)	$\sum te$	120	125	130	152	152
鉛プラグ径	(mm)	Dp	173	165	160	168	-
鉛プラグ本数	-	np	5	5	5	4	-

表-3 実験供試体寸法

鉛プラグ面積比率	-	AP/AR	15%	12%	10%	6.50%	RB
橋軸方向寸法	(mm)	a	240	240	240	240	240
橋軸直角方向寸法	(mm)	b	240	240	240	240	240
1層厚	(mm)	te	6	6	6	8	6
層数	-	ne	5	5	5	4	5
総ゴム厚	(mm)	$\sum te$	30	30	30	30	30
鉛プラグ径	(mm)	Dp	44	40	37	34	-
鉛プラグ本数	-	np	5	5	5	4	-
相似率	-	-	5.000	4.375	4.167	3.958	7.083

表-4 橋脚 P_y の設定

AP/AR	P_y/Q_d	P_y (kN)
RB	6.5%で4	5914
6.5%	4	5914
10%	3	5029
10%	4	6705
12%	3	5348
12%	4	7131
15%	4	7839

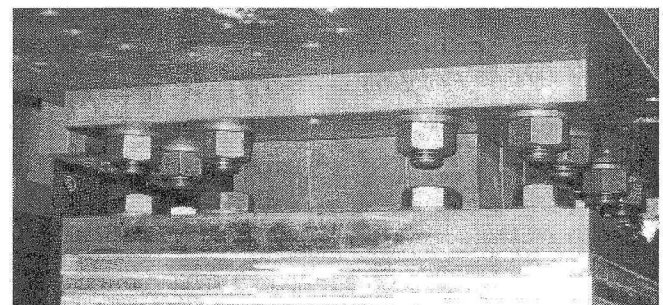


図-3 供試体設置状況

っていることがわかる。これは、単純にゴムのみの体積換算であるので、連結鋼板、内部鋼板などの体積を足し合わせると、このグラフ以上に体積の差が現れると考えられる。これらのことから、支承の高減衰化は、支承の小型化を行なえることがわかる。

(4) サブストラクチャーハイブリッド試験用供試体

試験用供試体はアクチュエーターの性能から、240mm×240mm、ゴム層厚30mmとした。この供試体の寸法と相似率を表-3に示す。また、図-3に供試体を示す。

3. ハイブリッド試験

(1) ハイブリッド実験の対象モデル

サブストラクチャーハイブリッド実験は、解析と実験を融合した方法である。ここで用いた解析モデ

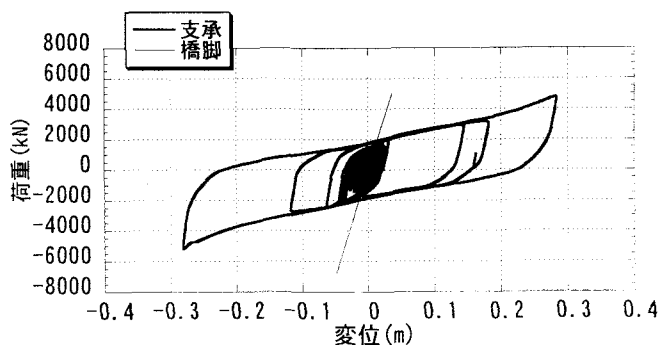


図-4 15%-4 の履歴

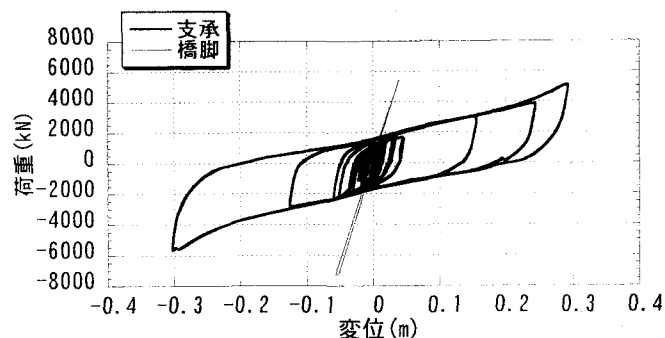


図-5 12%-4 の履歴

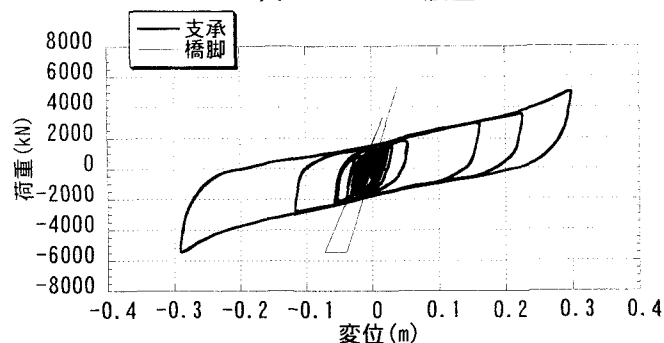


図-6 12%-3 の履歴

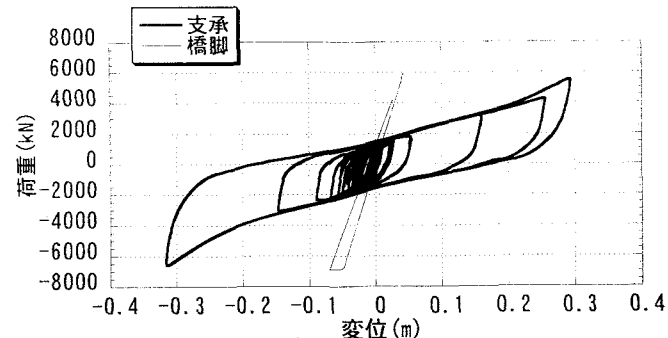


図-7 10%-4 の履歴

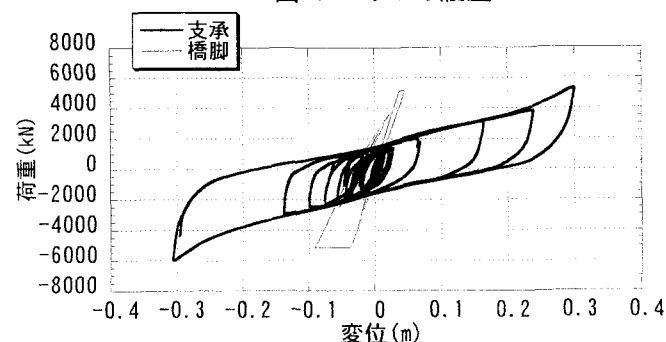


図-8 10%-3 の履歴

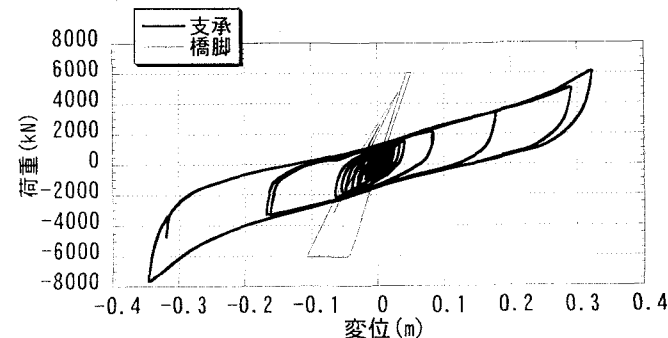


図-9 6.5%-3 の履歴

ルは、図-2に示すような2質点系モデルとした。支承部分は、試験により、変位-荷重の関係を求め、橋脚部分は武田型バイリニアモデルを用いた解析で変位-荷重の関係を求める。それらの両方の変位-荷重の関係をを用いて時間積分を行なう。時間積分法にはオペレータスプリッティング法を用い、時間間隔は0.01秒、地震波は日本道路協会から出されているL2・タイプⅡ地震動のⅡ種地盤、試解析の結果に基づいて3波目を用いた。

(2) 実験ケース

実験ケースを表-4に示す。本実験は、橋脚の降伏力(P_y)と鉛プラグ降伏荷重(Q_d)の比(β)に着目している。この β の値が大きいほど橋脚の降伏力大きな値を示す。なお、以下で引用する鉛プラグ面積比(AP/AR)と、 P_y/Q_d の関係を“ $AP/AR\%-P_y/Q_d$ ”と示す。

(3) 得られた履歴

履歴を図-4から図-9に示す。なお、この結果は、相似則を適用した値である。これらの結果から、鉛を増量したLRBでも、バイリニアに近い履歴を描い

ていることがわかる。また、鉛プラグ面積比が大きいほど、支承変位が小さく、同様に橋脚変位も低下する傾向にあることがわかる。

(4) 実験結果の評価

実験結果を図-10から図-12に示す。なお、この結果も、相似則を適用した値となっている。これらから、支承のせん断ひずみはRBを除き250%程度となっていることがわかる。また、支承の荷重に着目すると、減衰が低いRBが圧倒的に大きく、それに伴い、下部構造の塑性率も高くなっていることがわかる。

LRBに着目すると、橋脚の荷重が低い実験ケース10%-3・12%-3と6.5%-4を比較すると、鉛プラグ面積が大きいほど、橋脚の降伏荷重が下がるだけでなく、橋脚の塑性率が低くなる傾向になってくることがわかる。このことから、鉛プラグ面積の増加は、支承形状を小さくすることができるばかりではなく、橋脚の塑性化を抑制することができることがわかる。

また、図-12に、上部構造の変位を示す。ここから、鉛プラグ面積の増大とともに、上部構造の変位も低下している。このことから、支承の高減衰化は、ジョイントなどの上部構造変位から設計される部品も小さくすることができ、橋梁全体のトータルコス

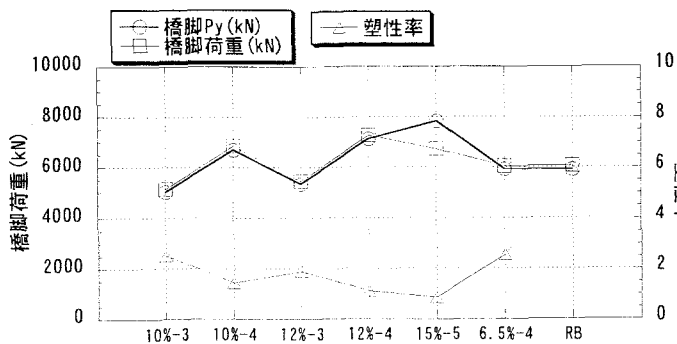


図-10 橋脚荷重・塑性率比較

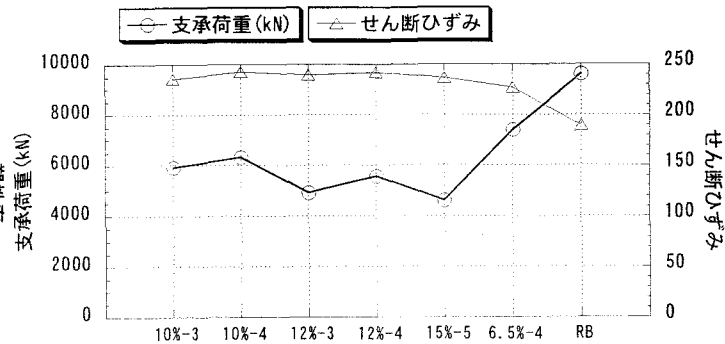


図-11 支承荷重・せん断ひずみ比較

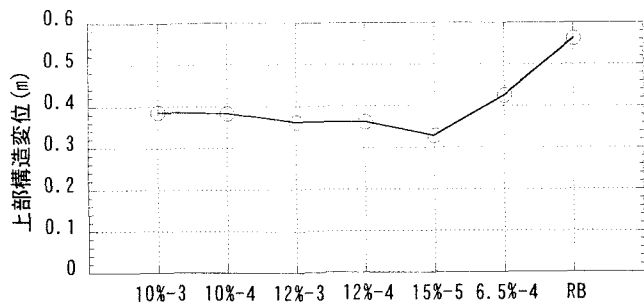


図-12 上部構造変位比較

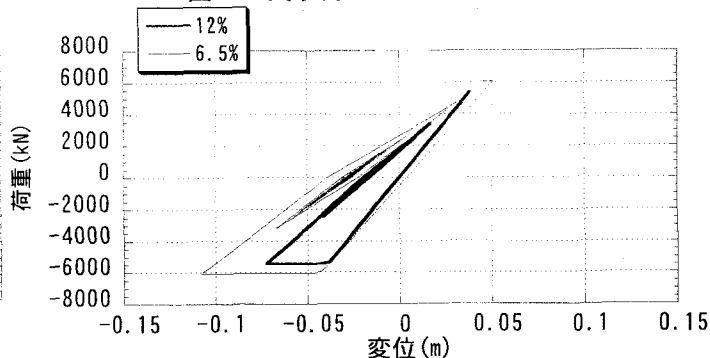


図-13 AP/AR=12%とAP/AR=6.5%の橋脚履歴比較

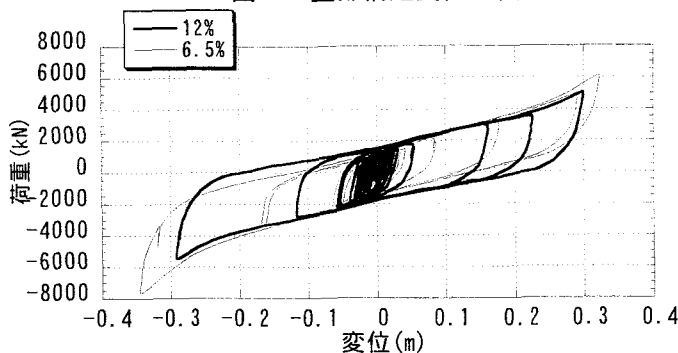


図-14 AP/AR=12%とAP/AR=6.5%の支承履歴比較

ト縮減となることが考えられる。

(4) 履歴による比較

a) 橋脚の履歴

橋脚の履歴を図-13(12%-3と6.5%-4)に示す。なお、これも前項同様に、相似則を適用した後の値となっている。図-13から、12%で設定した P_y と、6.5%で設定した P_y は設定上6.5%のほうが大きくなっているが、変位は、12%の方が小さくなっている。このことから、支承の減衰の増大と適度な橋脚の降伏力の設定によりは、橋脚の塑性化を抑制できると考えられる。

b) 支承の履歴

支承の履歴を図-14(12%-3と6.5%-4)を比較して、切片荷重(Q_d)が増加しており、減衰が増加していることが分かる。この図より、AP/AR=12%の方が履歴面積が大きく履歴面積が大きい分だけ、支承の変位も減少しており、鉛プラグ面積を増大させることにより、減衰性能が向上していることがこの図からわかる。

4. まとめ

ここでは、鉛プラグ面積を増量したLRBに対してサブストラクチャーハイブリッド試験を行ない、その結果をまとめた。ここで得られた知見を以下に示す。

- ①本試験結果から、鉛プラグを増量することは減衰を増大することにつながり、橋脚の降伏強度も下げられることがわかった。
- ②鉛プラグを増量したLRBは地震波を入力した構造系に対しても安定した履歴を持ち、実用上問題が無いことをしめされた。
- ③鉛プラグを増量することにより、橋梁全体の応答を減少させ、全体系のコスト縮減に寄与できる可能性を示した。

今後、ここで得られたデータに基づいてより精緻に履歴のモデル化や、コストに対する検討を行なう所存である。