

支承の移動制限装置の設計法の提案

A Proposal of Seismic Design Method of Restrainer for Bridge Bearing

山本 泰幹*, 森 健太郎**, 谷中 聡久***, 岩崎 雅紀****
Yasumiki YAMAMOTO, Kentaro MORI, Toshihisa YANAKA, Masanori IWASAKI

*工修 首都高速道路公団 第二建設部 (〒151 東京都渋谷区代々木2-1-1)
**工修 首都高速道路公団 神奈川管理部 (〒221 横浜市神奈川区東神奈川1-3-4)
*** 横浜河ブリッジ 技術本部 研究所 (〒261 千葉市美浜区新港88)
**** 横浜河ブリッジ 技術本部 研究所 (〒261 千葉市美浜区新港88)

Abstract

This report shows a proposal of seismic design method of restrainers for bridge bearings which are used as the renewal bearings. First, we have conducted two series of small size static tests, both bolt setting type restrainer and notch including type restrainer. Second, we have introduced three types of full size static test; those are (1) pot bearing with bolt setting type restrainer, (2) pot bearing with ordinary type and (3) high dumping rubber bearing with notch including type restrainers. Finally, we introduce a seismic design method of restrainer considering its load capacity.

Key Words : pot bearing, high dumping rubber bearing, restrainer, Load Capacity, seismic design method

1. はじめに

兵庫県南部地震では、支承部に設計で想定していた以上の過大な慣性力が作用した結果、可動固定を問わず、支承部付近に多種多様な被害が発生した。中でも、支承本体は比較的健全であるにも係わらずその取り付け部材や上下部構造に被害を受けた事例、例えば、①セットボルトの破断、②それによる上部構造のせん断キーからの抜け出し、③上部構造の局部座屈等が数多く見られた¹⁾。このため、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」²⁾(以下、「復旧仕様」という)では、支承部の設計外力を高めるとともに、免震支承の積極的な採用や移動制限機能の分散などの対策が示された。

本研究では、既往の支承部の設計法と兵庫県南部地震における支承部の被害状況などを基に、移動制限装置の構造を提案し、部分モデル実験及び実大実験を実施して耐荷力を定量化する。そして、伸縮継手の保護のため、あるいは支承の脱落防止のための装置として使用する場合の設計法を提案する。

2. 支承の移動制限装置の検討

2.1 既往の支承部の設計法と被害状況

従来の道路橋示方書³⁾では、落橋を防止するための構造として、①可動支承の移動制限装置、②けたかかり長 S_E 及び③落橋防止装置の3種類が示されている。表-1にこれらの設計水平力および移動制限量を示す。表からわかるように可動支承部の移動制限装置に比べて落橋防止装置は、落橋という最悪の事態を防ぐため設計水平力が高められているが、移動制限量については明確な差が付けられていない。また、けたかかり長と落橋防止装置は、いずれか一方でよいとされている。

表-1 道路橋示方書³⁾に示される落橋防止構造

	設計水平力	移動制限量
可動支承部の移動制限装置	$H_s = 1.5 \cdot k_N \cdot R_d$	可動支承の移動可能量 (温度変化+余裕量)
けたかかり長 S_E		$S_E = 70 + 0.5 \cdot l$
落橋防止装置	$H_R \geq 2.0 \cdot k_N \cdot R_d$ ($V = R_d$)	移動制限装置の移動可能量 (温度変化+余裕量)

支承便覧⁴⁾では、地震時における支承部の被害と上下部構造の被害は相互補間の関係があり、支承部の安易な高強度化は上下部構造への被害の転嫁を示唆する記述があるが、地震力の大きさを考慮した破壊メカニズムについては明確にされていない。

ここで、兵庫県南部地震における支承部付近の被害状況から、可動支承部における変位量と移動制限装置の破壊順序を図-1に示すように模式化して考えた⁵⁾。すなわち、移動制限装置が破壊した事例が多かったが、移動制限装置の破壊よりも上下部構造や落橋防止装置が早く破壊し、被害を拡大した事例もあったと考えられる。

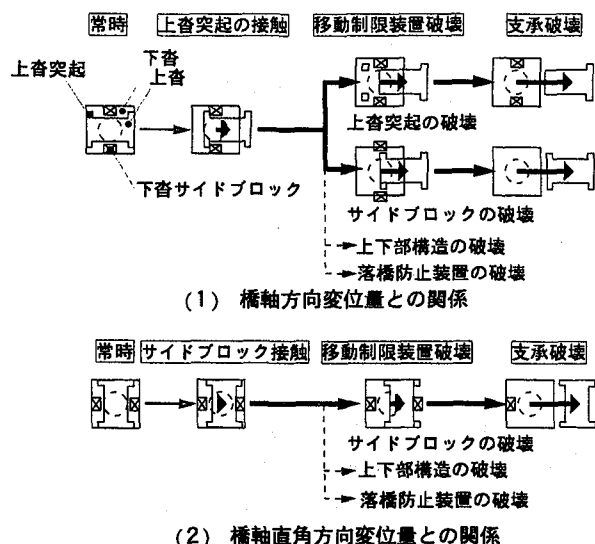


図-1 変位量と支承の破壊の関係

2.2 移動制限装置の考え方

以上のような、①既往の支承部の設計の考え方、②兵庫県南部地震における支承部の被害状況、③「復旧仕様」および参考文献6)に示される今後の耐震補強の考え方に立ち、移動制限装置の設計法として、支承種別毎に次のようにするのが望ましいと考えた。

(1) 免震支承の場合

今後、多用されると予想される免震支承は、支承本体でエネルギー吸収機能を有するので耐震のための移動制限装置は不要である。しかし、伸縮継手の設計遊間量には一般に制限があるので、常時あるいは中小規模の地震時に伸縮継手が損傷して、車両の走行に支障をきたすことがないようにすることが重要であると考えられる。すなわち、移動制限装置を伸縮継手の保護装置として強度および変位制限量を決定する必要があると提案される。

(2) その他支承の場合

既設橋の支承を取り替える場合、支承高さや下フランジ幅など設置スペースに制限があり免震支承が適用できない場合がある。このような場合、密閉ゴム支承板支承(以下、BP-B支承という)⁷⁾などのエネルギー吸収機能を有しない支承を採用する場合があるが、過大な変位が発生して支承が脱落することがないようにする必要がある。その手法として、支承とは別の位置に移動制限装置を設けることも考えられるが、狭い橋脚天端上に新たな装置を添加することは構造上難しい場合が多い。また、その取付け施工も困難であり、維持管理上も好ましくないと考えられる。このような場合、支承部に取り付ける移動制限装置の強度を高めることが適していると考えら

れる。

次節では、このような考え方に基づいた移動制限装置を提案する。

2.3 移動制限装置の提案

前記の考え方に立つ時、移動制限装置の強度を高めすぎて、他部材の損傷に繋がることがないようにしなければならない。すなわち、設計外力で移動制限装置が破壊するように、耐荷力を考慮して設計を行う必要がある。図-2に破壊後の修復が容易な構造として提案する移動制限装置の構造模式図を提案し、以下にそれぞれの構造および設計上の問題点をまとめる。

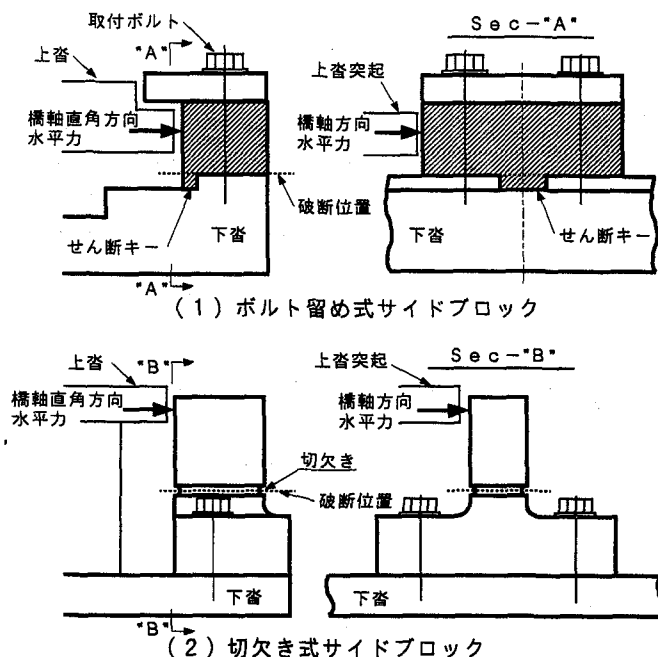


図-2 提案する移動制限装置の構造模式図

(1) ボルト留め式サイドブロック

この形式は、サイドブロックが下査と一体となった従来型に対して、サイドブロックと下査を分離しボルトで固定した構造で、サイドブロックの耐荷力を取付ボルトおよびせん断キーのせん断強度で制御する方式である。この形式の設計においては、次の問題が考えられた。

- 1) 水平力作用高さおよびボルト配置の関係により、ボルトに作用するせん断力(S)および引張力(T)の比率(以下、T/S比という)が異なる。これが、耐荷力にどの程度の影響があるか不明である。
- 2) サイドブロックは、橋軸方向に対しては2基、橋軸直角方向に対しては1基で水平力に抵抗するため、橋軸方向と橋軸直角方向の作用力の比率が1:2となる。

2方向の耐荷力が等しくなるように、橋軸直角方向水平力に対してのみ抵抗するせん断キーを取付けた。

(2) 切欠き式サイドブロック

この形式は、下査と一体となった従来型のサイドプロ

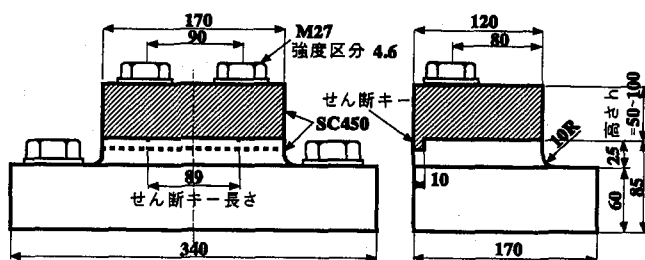


図-3 ボルト留め式サイドブロック供試体

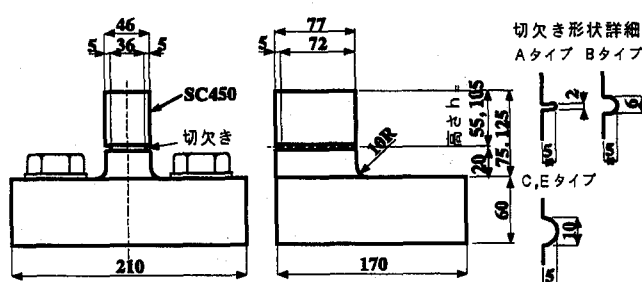


図-4 切欠き式サイドブロック供試体

表-2 ボルト留め式実験条件

タイ°	载荷方向	高さ (mm)	設計作用応力	
			引張 (kgf/cm ²)	せん断 (kgf/cm ²)
Aタイ°	橋軸	50	508	1,320
	橋軸直角		825	
Bタイ°	橋軸	75	1,016	
	橋軸直角		1,650	
Cタイ°	橋軸	100	1,523	
	橋軸直角		2,476	

注記

- ・橋軸方向設計水平力 11.7(tonf)
- ・橋軸直角方向設計水平力 23.4(tonf)

表-3 切欠き式実験条件

タイ°	载荷方向	切欠 半径 (mm)	応力 集中 率	高さ (mm)	設計作用応力	
					曲げ (kgf/cm ²)	せん断 (kgf/cm ²)
Aタイ°	橋軸	1.0	3.5	55	2,257	451
	橋軸直角		3.2			903
Bタイ°	橋軸	3.0	2.2			451
	橋軸直角		2.4			903
Cタイ°	橋軸	5.0	1.8	105	6,019	451
	橋軸直角		2.1			903
Dタイ°	橋軸	無し	1.0			451
	橋軸直角		1.0			903
Eタイ°	橋軸	5.0	1.8	105	6,019	451
	橋軸直角		2.1			903

注記

- ・橋軸方向設計水平力 11.7(tonf)
- ・橋軸直角方向設計水平力 23.4(tonf)

ックをボルトで固定するとともに、サイドブロックの基部に切欠きを設けた構造である。破断位置を切欠き部に特定し、破壊後にはボルト取合い部で交換することが可能のように意図した方式である。この形式の設計においては、次の問題が考えられた。

- 1) 切欠き形状（応力集中率）が耐荷性状に及ぼす影響が不明である。
- 2) 水平力作用高さ及び断面形状により、サイドブロックに作用する曲げ応力（ σ ）およびせん断応力（ τ ）の比率（以下、 σ/τ 比という）が異なり、耐荷力にどの程度の影響があるか不明である。
- 3) ボルト留め式と同様に2方向の耐荷力を制御する必要がある。

3. 移動制限装置の載荷実験

3.1 サイドブロック供試体

(1) ボルト留め式サイドブロック

供試体は、サイドブロック部をモデル化した部分モデルとし、図-3および表-2に示すように、各タイプとも設計荷重作用時に取付ボルトがせん断降伏するようにボルト径を決定し、T/S比を変化させることを目的にサイドブロック高さhをA～Cタイプの3種類とした。すなわち、ボルトの引張応力が最も小さいAタイプ（橋軸方向載荷）が降伏応力の20%程度、引張応力が最も大きいCタイプ（橋軸直角方向載荷）が降伏応力に達する程度に高さを設定した。せん断キーは取付ボルト2本の断面積とした。

(2) 切欠き式サイドブロック

供試体は、先と同様な部分モデルとし、図-4および表-3に示すように、切欠き形状をパラメータとしたA～Cタイプ、切欠きが無く断面寸法を切欠き底断面寸法に縮小したDタイプ、Cタイプと切欠き形状を同一としサイドブロック高さhを高くしたEタイプの合計5種類とした。A～Dタイプは、設計荷重作用時に切欠き底断面の曲げ応力が降伏応力に達するように設計した。切欠き形状は、応力集中率⁹⁾が2.0程度以上であれば塑性変形量の制御⁹⁾が可能であると考えられたため、製作の容易さも考慮して、切欠き底半径を1.0～5.0mmとした。また、前述のように2方向（橋軸及び橋軸直角）の耐荷力の比率を1:2とするため、断面係数比を1:2とした。

3.2 実験方法

実験は、供試体を図-5のように縦向きに取付け200tonf 万能試験機を用いて鉛直方向に橋軸方向および橋軸直角方向の水平力を静的載荷した。各供試体とも、取付ボルトなどをなじませるため予備載荷（5tonf）を実施した後、取付ボルトが破断に至るまで単調載荷を行い、各荷重段階においてサイドブロック先端の変形量を計測した。併せて、取付ボルトおよびサイドブロックの実強度を調べるため、取付ボルトと同ロットのボルトおよびサイドブロック供試体より採取した試験片の機械試験を行った。表-4～表-5に機械試験結果を示す。

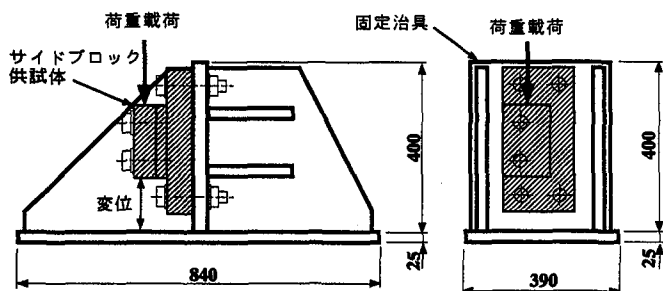


図-5 部分実験一般図

表-4 取付ボルト(M27)のせん断および引張試験結果

Mark	せん断強度 (tonf)	Mark	引張強度 (tonf)	引張強さ (kgf/mm ²)
JIS規格値	----		----	≥40.8
S1	27.8	T1	25.3	57.1
S2	27.0	T2	24.0	54.1
S3	29.9	T3	24.4	55.0
平均	28.2	平均	24.6	55.4

注記 ・せん断強度は2面せん断の値を示す。

3.3 実験結果

(1) ボルト留め式サイドブロック

図-6～図-7に橋軸方向および橋軸直角方向の載荷荷重とサイドブロックの変位量の関係を、図-8～図-9に最大荷重および吸収エネルギー(図-6～図-7の荷重と変位線図より算出)とT/S比の関係を示す。

橋軸方向載荷では、各タイプとも最大荷重、吸収エネルギーともにT/S比による有意差はない。最大荷重は約30tonfであり、計算せん断強度(20.9tonf)の約1.4倍であった。ボルトのせん断および引張試験結果では、多少ばらつきがあるものの、ボルトの実強度はJIS規格値の平均1.3倍であったことからこのような結果となったものと考えられる。

一方、橋軸直角方向載荷では、T/S比の増加とともに最大荷重はほとんど変化しないのに対し、吸収エネルギーは増加した。最大荷重は橋軸方向載荷の1.6倍程度で、設計時に期待した2.0倍に満たなかった。この原因として、せん断キーは本体から離間する側にあり、サイドブロック高さの増加に伴って離間量も増加するので、せん断キーに曲げモーメントが作用し、せん断強度が低下したことによると考えられる。

したがって、せん断キーが、想定したせん断強度を得られるようにせん断キーと下沓の噛み合わせ方法を工夫し、純せん断に近い形状(後述の図-15"a"部参照)とすれば、せん断キーを併用したボルト留め式サイドブロックをせん断力で設計することが可能と考えられる。

(2) 切欠き式サイドブロック

図-10～図-11に橋軸方向および橋軸直角方向の載荷荷重とサイドブロックの変位量の関係を、図-12～図-13に最大荷重および吸収エネルギー(図-10～図-11の荷重と変位線図より算出)と応力集中率の関係を示す。

橋軸方向載荷では、A～Dタイプは最大荷重、吸収

表-5 サイドブロック供試体の引張試験結果

採取部位	タイプ	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)
JIS規格値	SC450	≥23.0	≥45.9	≥19	≥30
ボルト留め 式上側	Aタイプ	32.9	54.7	15	21
	Bタイプ	25.4	47.6	25	28
	Cタイプ	27.4	49.5	27	34
	平均	28.6	50.6	22	28
ボルト留め 式下側	Aタイプ	31.7	54.5	18	15
	Bタイプ	26.3	48.1	19	29
	Cタイプ	30.9	53.5	18	26
	平均	29.7	52.0	18	23
切欠き式	Aタイプ	28.5	48.8	28	46
	Bタイプ	30.3	54.0	20	26
	Cタイプ	27.2	49.2	28	32
	平均	28.7	50.6	25	35

エネルギーともにばらつきがあり応力集中率の増加による傾向は明確ではない。Dタイプの最大荷重が他のタイプに比べ低い値であるのは、切欠きが無いため破断位置が曲げモーメントの大きなサイドブロック基部付近であったことが原因と考えられる。

一方、橋軸直角方向載荷では、A～Dタイプとも最大荷重はばらつきがあるが、吸収エネルギーは応力集中率の増加に伴い減少傾向にある。最大荷重は、橋軸方向載荷の1.4倍程度で、設計時に期待した2.0倍に満たなかった。この原因は、切欠き部が降伏して変形が進行するに伴って、サイドブロックが傾くために、上沓突起とサイドブロックの接触位置が上沓の板厚中心位置から上沓の下側角部まで下がる、すなわち、荷重作用位置のシフトに伴い曲げモーメントが減少し、2方向の結果ともせん断強度に近い値となったためと推定される。

荷重作用位置を上沓の角部下側とした場合の最大荷重と σ/τ 比の関係を図-14に示す。図中の破線は、切欠き部の曲げモーメントが全塑性モーメントとなるときの荷重(以下、全断面塑性荷重という)、せん断降伏およびせん断強度の計算値である。A～Dタイプはせん断力が支配的な範囲($\sigma/\tau < 2.0$)、サイドブロック高さの高いEタイプは曲げモーメントが支配的な範囲($\sigma/\tau > 5.0$)であることがわかる。 σ/τ 比の高いEタイプの最大荷重は、表-5の引張試験結果において実材料強度がJIS規格値の平均1.1倍であったことを考慮すると、全断面塑性荷重の約2.0倍と考えられ、供試体材料の引張強度と降伏応力の比率(降伏比の逆数)の2.0と同じである。また、2方向の耐荷力は、断面係数比どおり1:2となった。

以上より、曲げモーメントが支配的範囲($\sigma/\tau > 5.0$)となるようなサイドブロック形状とすれば、全断面塑性荷重の1.7～2.0(降伏比の逆数で供試体のSC450の場合2.0)倍程度の耐荷力を有し、断面寸法により耐荷力を制御することが可能であると考えられる。逆に、せん断力の影響の大きな範囲($\sigma/\tau < 2.0$)では、断面積で耐荷力が決定されるので、2方向の耐荷力を制御することは難しいと考えられる。

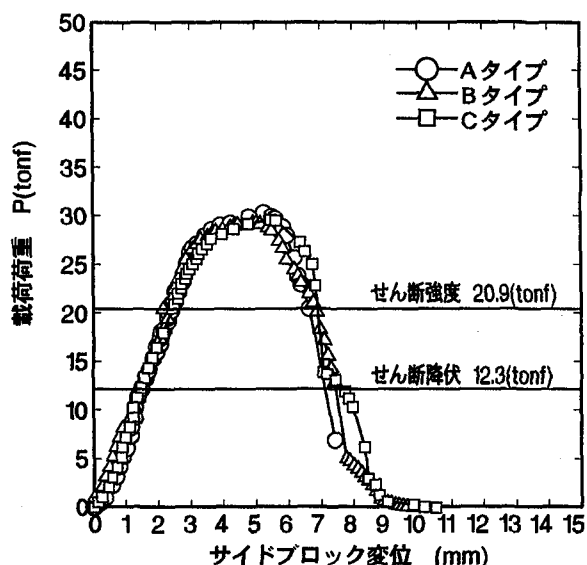


図-6 荷重・変位線図(ボルト留め式・橋軸方向載荷)

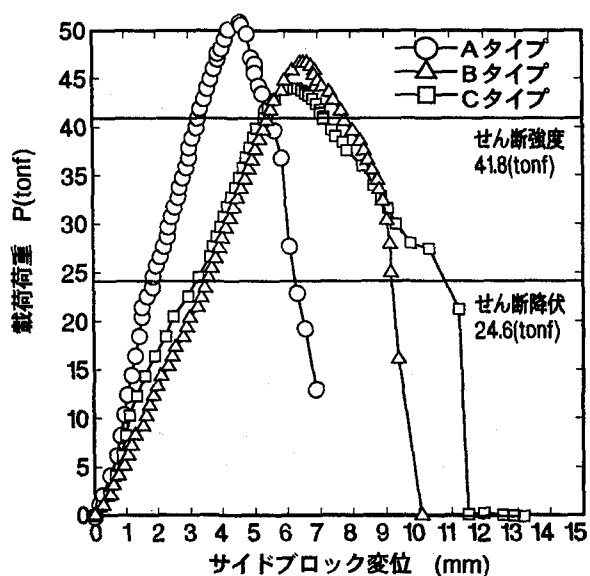


図-7 荷重・変位線図(ボルト留め・橋軸直角方向載荷)

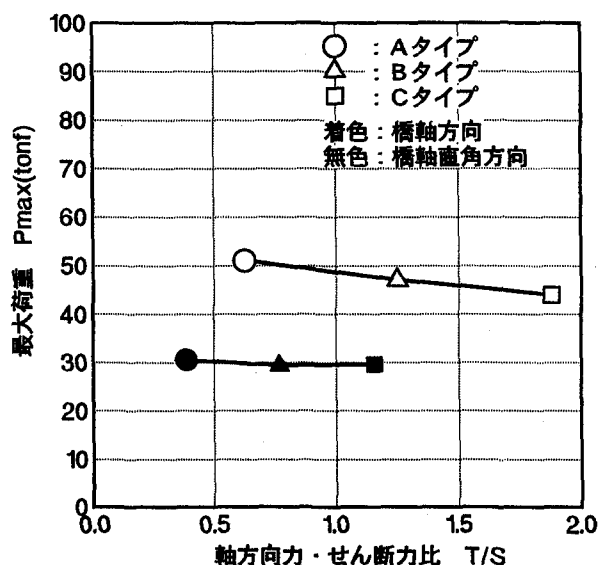


図-8 最大荷重とT/Sの関係(ボルト留め式)

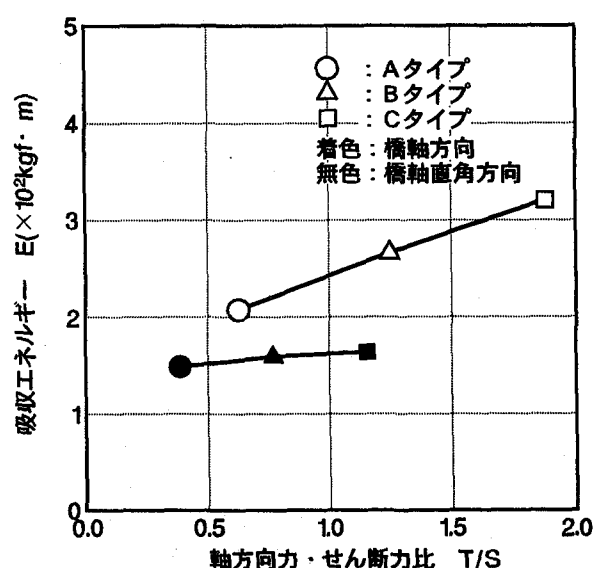


図-9 吸収エネルギーとT/Sの関係(ボルト留め式)

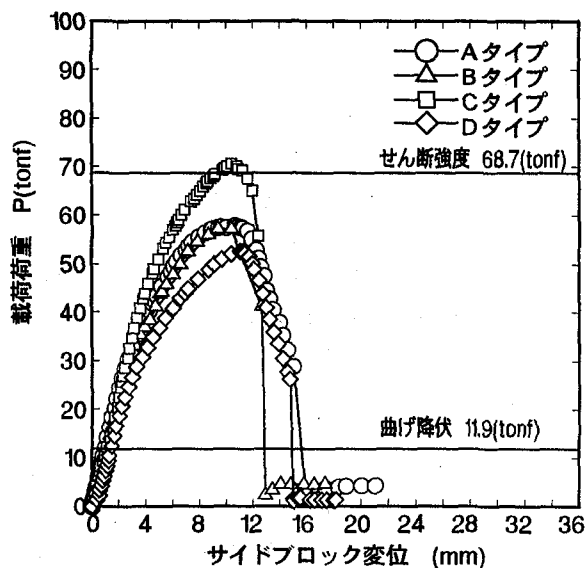


図-10 荷重・変位線図(切欠き式・橋軸方向載荷)

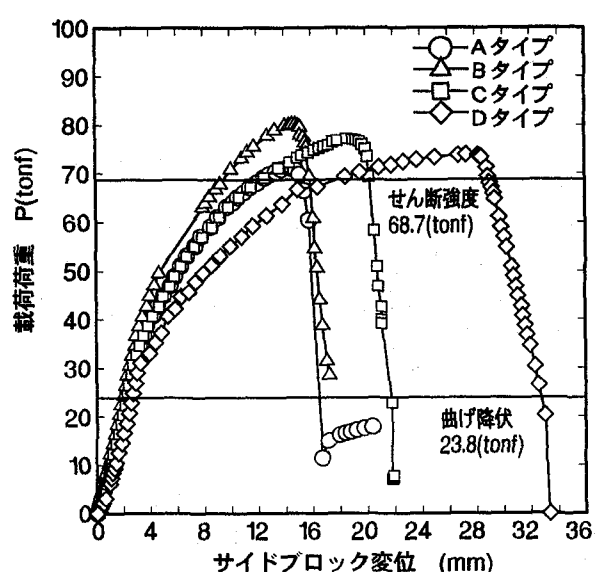


図-11 荷重・変位線図(切欠き式・橋軸直角方向載荷)

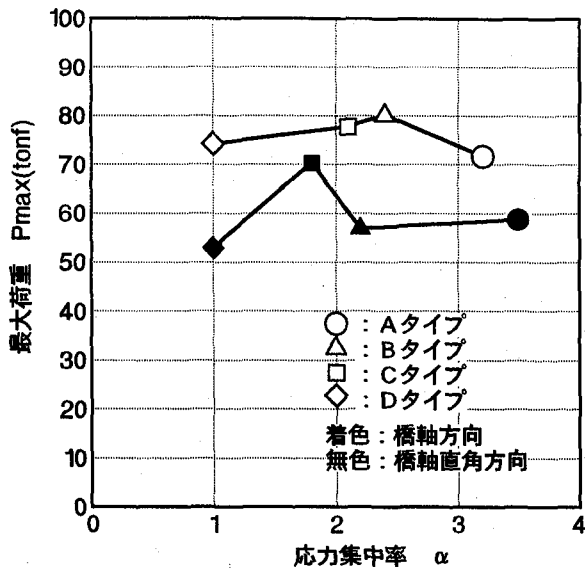


図-12 最大荷重と応力集中率の関係（切欠き式）

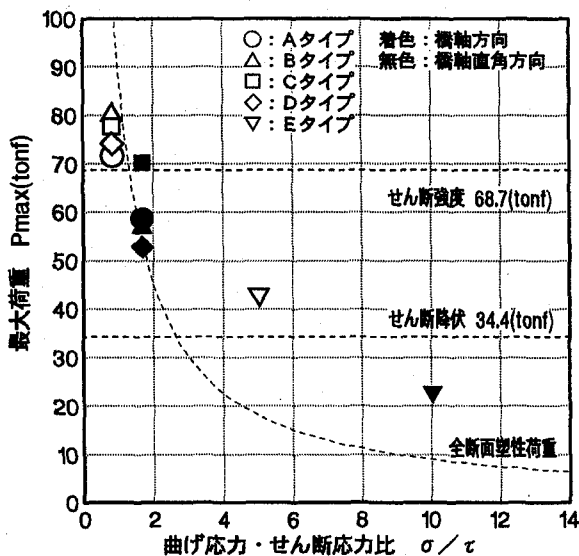


図-14 最大荷重と σ/τ の関係（切欠き式）

4. 実大支承の2軸静的載荷実験

4.1 実験方法

部分モデルの実験により、サイドブロックの耐荷性状が明らかとなったが、支承の変位挙動に及ぼす影響についても明らかにする必要があると考えられた。

そこで、ボルト留め式および切欠き式のサイドブロックを取り付けた実大支承を製作し、鉛直方向に死荷重反力を載荷保持し、橋軸水平方向に強制変位を付加する2軸静的載荷実験を実施した。ボルト留め式サイドブロックは、せん断力で設計するためサイドブロック高さ（水平力作用高さ）が低いBP-B支承を、切欠き式サイドブロックは、曲げモーメントで設計するためサイドブロック高さ（水平力作用高さ）が高い高減衰積層ゴム支承（以下、HDR支承という）をそれぞれ使用した。なお、上沓突起を先行して破断させる方式（以下、上沓突起破断式という）も考えられたので、それについてもBP-B

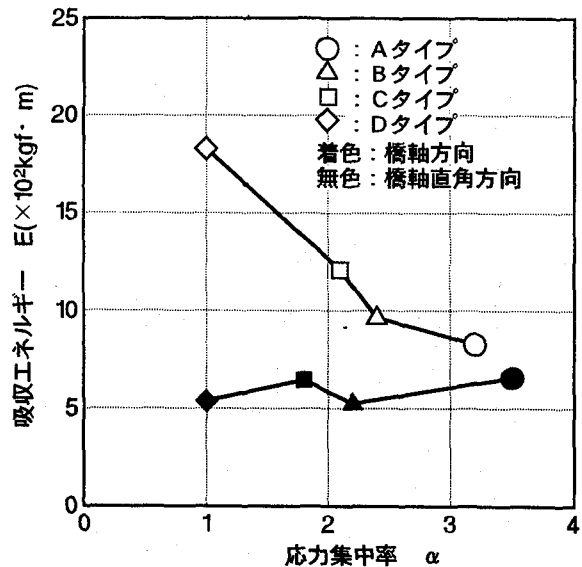


図-13 吸収エネルギーと応力集中率の関係（切欠き式）

支承を用いて実験を行った。以下、各支承の設計方法をまとめる。

(1) ボルト留め式BP-B支承

実験用支承は、図-15に示す全反力 $R=85\text{tonf}$ のBP-B可動支承とした。サイドブロックは破壊を前提としているため、地震時橋軸方向水平力の50%増しは行わず、すなわち、地震時橋軸方向水平力 $R_h=1.0 \times k_h \times R_d$ とした。また、取付けボルトは作用応力が降伏応力に近くなるように設計し、許容応力度の割増しを、

$$\sigma_a = 1,400 \times 1.5 = 2,100 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_a = 800 \times 1.5 = 1,200 \text{ kgf/cm}^2$$

とするとともに、作用せん断応力のみ許容応力度に対する余裕分を10%以内（ $\tau=1,163 \text{ kgf/cm}^2$ ）とした。サイドブロックを除く支承各部については、許容応力度の割増しは行わないこととした。

(2) 切欠き式HDR支承

実験用支承は、図-16に示す全反力 $R=85\text{tonf}$ のHDR支承とした。サイドブロックは先と同様に考えた。すなわち、破断を前提とした部材であるため、地震時橋軸方向水平力 R_h の50%増しは行わず（ $R_h=1.0 \times k_h \times R_d$ ）、切欠き位置の応力分布が全断面塑性となるように設計し、許容応力度の割増しを

$$\sigma_a = 1,400 \times 1.7 = 2,380 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_a = 800 \times 1.7 = 1,360 \text{ kgf/cm}^2$$

とし、作用曲げ応力のみ許容応力度に対する余裕分を10%以内（ $\sigma=2,214 \text{ kgf/cm}^2$ ）とした。支承本体は、「道路橋の免震設計法マニュアル（案）」¹⁰⁾に従い、震度法レベル（地震時水平力 $R_h=1.0 \times k_h \times R_d$ によるせん断ひずみ $\gamma=62.3\% < 150\%$ ）で設計した。

(3) 上沓突起破断式BP-B支承

実験用支承は、図-17に示すように従来型のBP-B支承と同様の構造である。設計に際しては、上沓突起を除く支承各部の許容応力度の割増しを行わなかった他は、従来どおりである。すなわち、上沓突起が支承各部に対

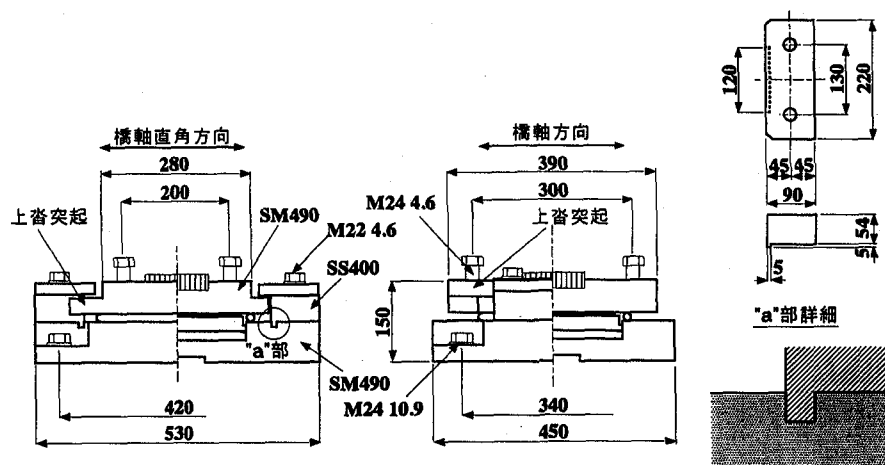


図-15 ボルト留め式BP-B支承

ボルト留め式BP-B支承設計条件		
全反力	R	85.0 tonf
死荷重反力	Rd	41.2 tonf
橋軸方向水平力	Rh1	13.6 tonf
橋軸直角方向水平力	Rh2	13.6 tonf
上揚力	V	4.1 tonf
移動可能量	e	60 mm
設計水平震度	kh	0.33

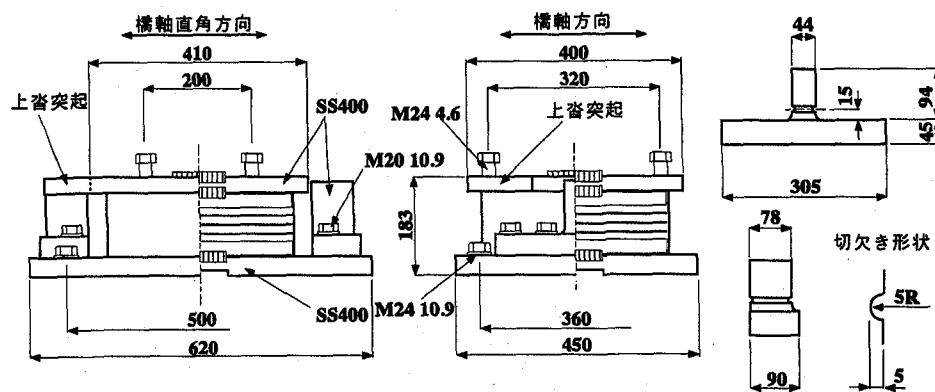


図-16 切欠き式HDR支承

切欠き式HDR支承設計条件		
全反力	R	85.0 tonf
死荷重反力	Rd	41.2 tonf
橋軸方向水平力	Rh1	13.6 tonf
橋軸直角方向水平力	Rh2	13.6 tonf
上揚力	V	4.1 tonf
移動可能量	e	126 mm
設計水平震度	kh	0.33
静的せん断弾性係数	G	10.0 kgf/cm ²

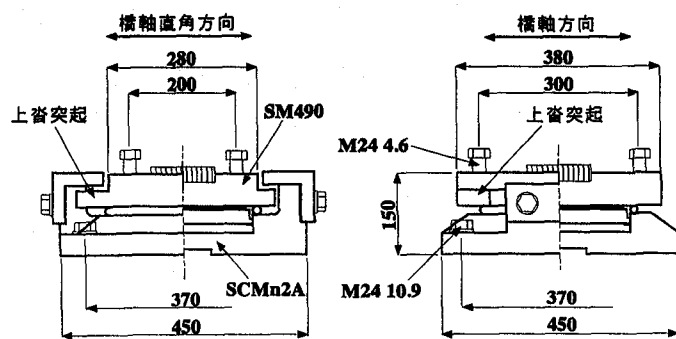


図-17 上沓突起破断式BP-B支承

上沓突起破断式BP-B支承設計条件		
全反力	R	85.0 tonf
死荷重反力	Rd	41.2 tonf
橋軸方向水平力	Rh1	13.6 tonf
橋軸直角方向水平力	Rh2	13.6 tonf
上揚力	V	4.1 tonf
移動可能量	e	60 mm
設計水平震度	kh	0.33

して先行して破断するように、許容応力度を割増しすることにより、上沓突起の強度を差別化（従来設計に対して上沓突起を除く支承各部の高強度化）している。上沓突起部の許容応力度の割増しは

$$\sigma_s = 1,900 \times 1.5 = 2,850 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\tau_s = 1,100 \times 1.5 = 1,650 \text{ kgf/cm}^2$$

とし、作用曲げ応力のみ許容応力度に対する余裕分を10%以内（ $\sigma = 2,616 \text{ kgf/cm}^2$ ）とした。

実験は、図-18に示すように上部構造を模した主桁モデル材を取付け、鉛直方向に死荷重反力 $R_d = 41.2 \text{ tonf}$ を载荷保持した状態で、水平方向に強制変位をサイドブロックあるいは上沓突起が破断に至るまで負荷し、各強制変位段階において、水平反力および支承各部の変位を計測した。

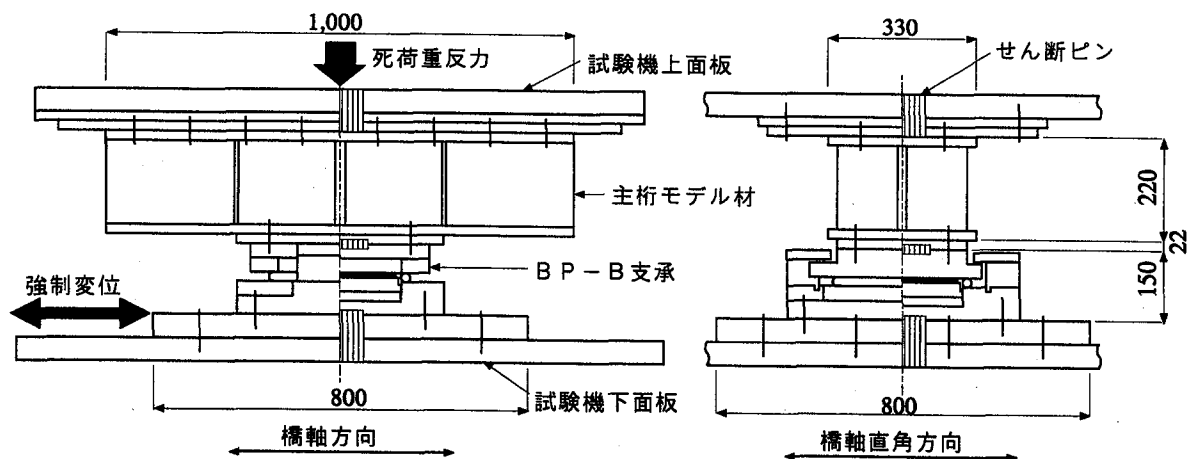


図-18 実大支承の2軸静的載荷実験一般図

4.2 実験結果

図-19に水平反力と強制水平変位の関係を示し、以下に各支承の実験結果をまとめる。

(1) ボルト留め式BP-B 支承

ボルト留め式BP-B 支承は、上沓突起とサイドブロックが接触するまでは水平反力3tonf程度の滑り板の摩擦力（摩擦係数0.07）が生じ、サイドブロックに接触後、水平反力が増加しサイドブロックが破断後、再び滑り板の摩擦力に戻る事がわかる。最大反力から支承の摩擦力を差し引くと、サイドブロックの耐荷力は37tonf程度であり、ボルトのせん断強度の計算値(27.5tonf)の1.3倍程度であった。部分実験の結果と同じであったといえる。

以上より、サイドブロックの耐荷力は、部分実験と有意差が無く、サイドブロック破断時の支承全体の挙動も特に問題は無いと考えられる。

(2) 切欠き式HDR 支承

切欠き式HDR 支承は、上沓突起とサイドブロックが接触するまでゴム本体の等価せん断剛性なりに水平反力が生じ、サイドブロックに接触後、水平反力が増加しサイドブロックが破断後、ゴム本体の分担する水平反力に戻り、再びゴム本体の等価せん断剛性なりに水平反力が増加することがわかる。最大反力からゴム本体の分担分を差し引くと、サイドブロックの耐荷力は45tonf程度であり、部分実験結果から全断面塑性荷重の1.9(供試体SS400の降伏比の逆数)倍とした計算値(37.2tonf)の1.2倍程度であった。部分実験の結果と同じであったといえる。ただし、サイドブロックが付加されたことで、ゴム本体の許容せん断ひずみ(250%)に相当する強度を上回っている。切欠き式サイドブロックをHDR 支承のような支承に取り付けることは、伸縮装置の保護が主目的と考えているので、ゴム本体の許容せん断ひずみに相当する強度以上の耐荷力を有するサイドブロックを取り付けると、上下部構造へ被害を転嫁する可能性がある。設計時においては、サイドブロックの耐荷力がゴム本体

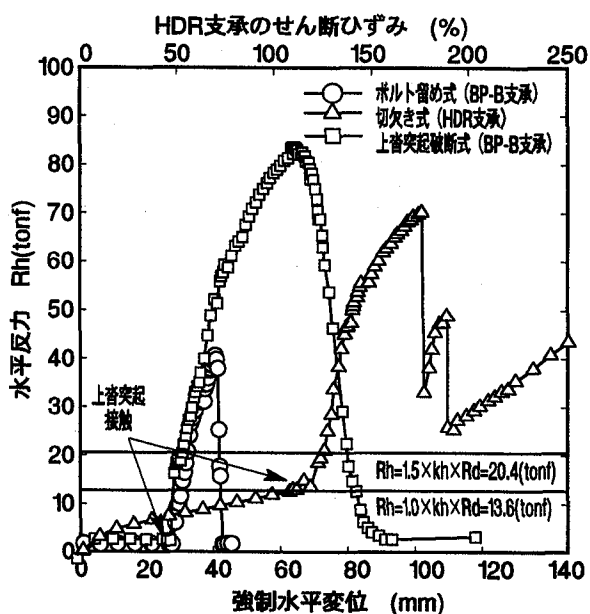


図-19 2軸静的載荷実験の荷重・変位線図

の強度を上回ることがないように、上限値の照査が必要であるといえる。

(3) 上沓突起破断式BP-B 支承

上沓突起破断式BP-B 支承は、設計で期待したとおり上沓突起が破断した。他の形式に比べて破断に至るまでの変形能が大きいので、過大な耐荷力を有しないように設計すれば、適用できると考えられる。ただし、橋軸直角方向について今後検討する必要がある。

5. 移動制限装置の設計法の提案

(1) ボルト留め式サイドブロック

本形式は、支承他部位に先行して、サイドブロック取付ボルトがせん断破断することを意図しているが、作用せん断応力 τ をせん断破断応力 τ_b まで許容するには、①死荷重反力のばらつきがある、②同一支承線上において、設計死荷重反力に対応した水平力が作用するとは限らないなどの問題が考えられる。そこで、せん断破断に

至るまでの安全率（一般的には1.7）を考慮し、以下に設計方法（提案式の記号は、図-20を参照）を提案する。

a) 設計方針

- ・ 取付けボルトはせん断力で設計する。
- ・ 取付けボルトの応力度は、許容応力度 σ_a 、 τ_a に割増係数 α を乗じた値とする（せん断応力度の余裕分10%以内）。

$$\alpha = \frac{\sigma_b}{1.7\sigma_a}, \frac{\tau_b}{1.7\tau_a}$$

ここで、 σ_b ：引張強さ

τ_b ：せん断強度

b) 橋軸方向水平力による応力度

<軸方向応力度>

$$\sigma_1 = \frac{\frac{1}{2} R_{H1} X h \times \frac{L_1 + L_2}{L_1^2 + (L_1 + L_2)^2}}{\frac{\pi}{4} X D^2} \leq \sigma_a \times \alpha$$

<せん断応力度>

$$\tau = \frac{\frac{1}{2} R_{H1} X h}{\frac{\pi}{4} X D^2 \times 2} \leq \tau_a \times \alpha$$

c) 橋軸直角方向水平力による応力度

<軸方向応力度>

$$\sigma_1 = \frac{R_{H2} X h \times \frac{1}{L}}{\frac{\pi}{4} X D^2 \times 2} \leq \sigma_a \times \alpha$$

<せん断応力度>

$$\tau = \frac{R_{H2} X h}{\frac{\pi}{4} X D^2 \times 2 + A_s} \leq \tau_a \times \alpha$$

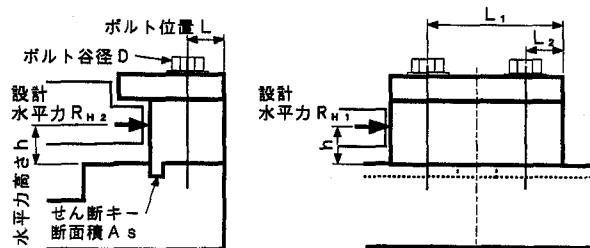


図-20 ボルト留め式サイドブロック模式図

(2) 切欠き式サイドブロック

実験結果より、耐荷性状は曲げモーメントに対するせん断力の増加とともに複雑になることが明らかとなっている。このため、実験値は少ないが、曲げモーメントが支配的な範囲（ $\sigma/\tau > 5.0$ ）となるように設計することを基本とする。また、ボルト留め式と同様に、破断に至るまでの安全率を考慮する必要がある、以下に設計方法（提案式の記号は、図-21を参照）を提案する。

a) 設計方針

- ・ 切欠き部は曲げモーメントで設計する（ $\sigma/\tau > 5.0$ ）。
- ・ 応力度は、許容応力度 σ_a 、 τ_a に割増係数 α を乗じた値とする（曲げモーメントによる応力度の余裕分を10%以内とする）。

$$\alpha = \frac{\sigma_b}{1.7\sigma_a}, \frac{\tau_b}{1.7\tau_a}$$

ここで、 σ_b ：引張強さ

τ_b ：せん断強度

b) 橋軸方向水平力による応力度

<曲げ応力度>

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2} R_{H1} X h}{\frac{B X D^2}{4}} \leq \sigma_a \times \alpha$$

<せん断応力度>

$$\tau = \frac{\frac{1}{2} R_{H1} X h}{B X D} \leq \tau_a \times \alpha$$

c) 橋軸直角方向水平力による応力度

<曲げ応力度>

$$\sigma = \frac{R_{H2} X h}{\frac{D X B^2}{4}} \leq \sigma_a \times \alpha$$

<せん断応力度>

$$\tau = \frac{R_{H2} X h}{B X D} \leq \tau_a \times \alpha$$

d) 耐荷力

免震ゴム支承に適用する場合、サイドブロックの耐荷力 R_u が、ゴム支承の許容せん断ひずみに相当する強度を超えないことを照査する。

$$R_u = k_p \times k_m \times R_h \leq R_{b1} - R_{b2}$$

ここで、

R_h ：設計水平力

k_p ：全断面塑性荷重と耐荷力の比率（降伏比の逆数）

k_m ：JIS規格値の材料強度下限値と上限値の比率（JIS規格に材料強度の上限値がない場合は、強度レベルの等しい構造用圧延鋼材等を参考に決定する）

R_{b1} ：ゴム支承の許容せん断ひずみに相当する強度

R_{b2} ：ゴム支承のせん断ひずみ70%に相当する強度

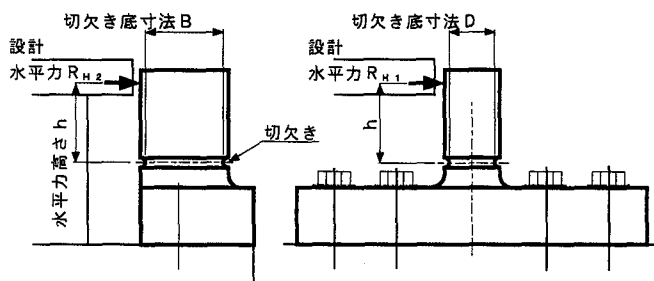


図-21 切欠き式サイドブロック模式図

(3) 上凸突起破断式

橋軸方向の機能のみ有するこの形式は、上凸突起の耐荷力が高くなりすぎないようにする必要がある。以下に設計方針を提案する。なお、橋軸直角方向については、今後、検討する必要がある。

<設計方針>

- ・上沓突起の許容応力度は、降伏応力とする（着目する断面力による応力度の余裕分を10%以内とする）。

6. まとめ

以上、従来の支承部の設計方法、兵庫県南部地震の被害状況、および「復旧仕様」などを基に、支承の移動制限装置のあり方として、移動制限装置は設計外力で確実に破壊するような構造とすることを考え、3種類の移動制限装置を提案した。それら移動制限装置について、モデル実験および実大支承実験を行って、耐荷性状を調べ、破壊を想定した移動制限装置の設計方法を提案した。結果を以下にまとめる。

- (1) ボルト留め式サイドブロックは、せん断キーを付加することで2方向の耐荷力を制御することが可能である。この場合の耐荷力は、取付けボルトのせん断強度で決定することができる。
- (2) 切欠き式サイドブロックは、曲げモーメントが支配的な形状($\sigma/\tau > 5.0$)とすれば、その耐荷力は全断面塑性荷重の1.7～2.0(降伏比の逆数)倍程度であり、2方向の耐荷力を制御することが可能である。免震ゴム支承など、エネルギー吸収能を有するゴム支承に取り付ける移動制限装置では、ゴム支承本体の許容せん断ひずみに相当する強度を超えないようにすることが重要である。
- (3) 橋軸方向のみであるが、上沓突起破断式の移動制限装置も、許容応力度の割増しや応力度の余裕分に配慮

すれば適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 神田昌幸：道路橋における支承および落橋防止構造の被災の総括，橋梁と基礎，Vol.30, No.8, pp.156-162, 1996.8.
- 2) (社)日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様，1995.6.
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，1990.2.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋支承便覧，1991.7
- 5) 谷中聡久，中村 求，江川典聰，中村一平：鋼製支承の強度に関する解析及び実験，第51回土木学会年次講演会概要集，Ⅰ-A283，pp.566-567, 1996.9.
- 6) 西川和廣，神田昌幸：道路橋の支承部構造および落橋防止システムの今後の方向，橋梁と基礎，Vol.30, No.8, pp.163-164, 1996.8.
- 7) 山本泰幹，稲田育朗，徳田浩一，岩崎雅紀：密閉ゴム支承の取替えに対する適用性と耐久性に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol.42A, pp.891-900, 1996.3.
- 8) 西田正孝：応力集中，森北出版，pp.567, pp.572, 1967.9.
- 9) 岩崎雅紀，谷中聡久，塚本雅敏：支承用鋼材の引張強度に関する一実験，第51回土木学会年次講演会概要集，Ⅰ-A284，pp.568-569, 1996.9.
- 10) (財)土木研究センター：道路橋の免震設計マニュアル(案)，1992.12.

(1996年9月6日受付)