11. 各個撃破を回避するダイス・ロッド式摩擦サイドブロックの開発

Development of a Die and Rod Type Friction Side Block to Avoid Individual Breaking

波田雅也* 藤本和久* 牛島 栄** 和田 新*** 右高裕二***

-概要-

橋梁のサイドブロックは、地震時に上部工が橋軸直角方向に変位しないようゴム支承を両側面から 拘束する耐震部材である。しかし、近年の熊本地震(2016.4)等による地震被害調査では、サイドブロッ クの取付けボルトが破断し、サイドブロック本体が脱落する事例が複数報告されている。このサイド ブロックの脱落は、上部工の地震時挙動の複雑さや施工誤差等による離隔の不均一のため、複数個設 置されるうちの特定のサイドブロックに地震荷重が集中することで生じる"各個撃破"が原因の一つと されている。サイドブロックが高架下に脱落すると重大な第三者被害を引き起こすことが懸念される。 そこで筆者らは、ダイス・ロッド式の摩擦機構を応用し、各個撃破を回避できる「ダイス・ロッド式 摩擦サイドブロック」(以下、摩擦サイドブロック)を開発している。本報では、摩擦サイドブロックの 概要および地震時挙動の検証を目的とした振動台実験について示す。

ー技術的な特長ー

摩擦サイドブロックは、従来のサイドブロックと同様にゴム支承の橋軸直角方向の両側面に設置す る(図1参照)。地震時には、特定のサイドブロックに荷重が集中しても、所定の荷重に達すると摩擦機 構がリミッターとして機能するため、サイドブロックを固定するボルト破断などの脆性破壊を生じず、 次々に連続して他のサイドブロックに荷重が分配されることで各個撃破を回避できる(図2、図3参照)。 振動台実験では、約 1/2 スケールの摩擦サイドブロックを製作し、実地震時の動的挙動を再現した加 振を行った。実験の結果、摩擦サイドブロックは、摩擦機構がリミッターとして有効に機能し、設計 で想定した通りの履歴特性を発揮することが確認できた(図4参照)。



※本報は、首都高速道路(株)と青木あすなろ建設(株)の共同研究「既設橋梁の耐震性向上技術に関する研究」に関する研究成果の 一部である。

*技術研究所耐震リニューアル研究室 **執行役員 技術研究所所長 ***首都高速道路(株)

各個撃破を回避するダイス・ロッド式摩擦サイドブロックの開発 Development of a Die and Rod Type Friction Side Block to Avoid Individual Breaking ○波田 雅也* 藤本 和久* 牛島 栄** 和田 新*** 右高 裕二*** Masaya HADA Kazuhisa FUJIMOTO Sakae USHIJIMA Arata WADA Yuji MIGITAKA

ABSTRACT Side blocks on bridges are seismic resistant members that restrain the rubber bearing from both sides so that no superstructure may be displaced at right angles to the bridge axis during an earthquake. Recent seismic damage surveys conducted during the Kumamoto Earthquake of April 2016 and other earthquakes present several cases where side block attaching bolts were fractured and the side block proper dropped. The phenomenon is attributed to the "breaking of individual side blocks" that is caused as seismic loads concentrate on specific side blocks among the side blocks installed because of the complicated seismic behavior of superstructure and of non-homogeneous clearance due to a construction error. The authors developed "die and rod friction side block, applying the die and rod friction mechanism. This paper outlines the friction side block and describes the shaking table tests conducted to verify the seismic behavior of the friction side block.

Keywords:摩擦サイドブロック, ダイス・ロッド式, 橋梁, 耐震補強, 振動台実験 Friction Side Block, Die and Rod Type, Bridge, Seismic Retrofit, Shaking Table Test

1. はじめに

橋梁のサイドブロックは、地震時に上部工が下 部工天端上を変位しないよう支承を両側面から拘 束する耐震部材である。しかし近年の東北地方太 平洋沖地震(2011.3)や熊本地震(2016.4)等におけ る地震被害調査では、サイドブロックの取付けボ ルトが破断し、サイドブロック本体が脱落する事 例が複数報告されている¹²⁰。このサイドブロック の脱落は、上部工の地震時挙動の複雑さや施工誤 差等による離隔の不均一のため、複数個設置され るうちの特定のサイドブロックに地震荷重が集中 することで、個別に次々と破壊に至る"各個撃破" が原因の一つとされている³⁷⁰。サイドブロックが 高架下に脱落すると重大な第三者被害を引き起こ すことが懸念される。そこで筆者らは、制震ダン パーとして多数の実績を有するダイス・ロッド式 の摩擦機構⁸⁹⁰を応用することで各個撃破を回避で きる「ダイス・ロッド式摩擦サイドブロック」(以 下、摩擦サイドブロックと称す)を開発している(図 1)。本報では、摩擦サイドブロックの概要を示す とともに、地震時挙動の検証を目的として行った 振動台実験について示す。

上沓プレ

積層ゴム

下沓プレ-ベースプレ



^{*}技術研究所 耐震リニューアル研究室 **執行役員 技術研究所 所長 ***首都高速道路(株)

2. 摩擦サイドブロックの概要

2.1 摩擦機構

摩擦サイドブロックの外観パースを図 2 に、摩擦 機構を図 3 に示す。摩擦サイドブロックは、ダイス(金 属環)の内径より少し太いロッド(金属棒)をダイスに はめ込むことによってロッドの外周に常に締付け力 が掛かる摩擦機構を応用したものであり、支承が変形 しようとする水平力に対して、ダイスとロッドの接触 面に生じる摩擦力で抵抗する。設置手順は、まず T 型ブロックをベースプレートにボルト接合した後、ダ イス・ロッドを T 型ブロックに挿入し、ロッド先端 を上沓プレートに接触させた状態で、ロックナットで 挟み込むようにして T 型ブロックに固定する。この ように、摩擦サイドブロックは、設置手順を 2 段階 とすることで、取付け時の施工誤差を吸収でき、上沓 プレートと摩擦サイドブロックとの隙間を極力ゼロ に近づけることができる。



2.2 各個撃破の回避

摩擦サイドブロックの骨格曲線の概念図を、従来サ イドブロックと比較して図 4 に示す。従来のサイド ブロックは、過度な荷重が作用すると、極小さな変位 で取付けボルト等の脆性破壊が生じ抵抗力を喪失す る。そのため、サイドブロック毎の離間の不均一に対 応できず、各個撃破に至る原因となっている。一方、 摩擦サイドブロックは、所定の荷重に達すると摩擦機 構が、一定の摩擦抵抗力を保持する。すなわち、摩擦 サイドブロックは、摩擦抵抗力を取付けボルトの破断 荷重未満に設定することにより、ボルト破断等の脆性 破壊を生じることなくリミッターとして機能し、順次 他のサイドブロックに荷重が分配されることで各個 撃破を回避できる。



3. 振動台実験

3.1 試験体

3.1.1実験模型 実験模型を図5に、実験模型の諸 元を表1に、振動台実験状況を写真1に示す。実験 模型は、加振テーブルに一体化させた下部工(下段フ レーム)と、カウンターウェイトを載せて重量を調整 した上部工(上段フレーム)で構成した。摩擦サイドブ ロックは、下段フレーム)で構成した。摩擦サイドブ ロックは、下段フレーム中央部の天端に、東西各々に 2基ずつ設置した。また、上沓プレートは、上段フレ ーム中央部の下端に設置した。本実験では、加振テー ブルに所定の加速度波形を入力し、実験模型に上段慣 性力(上段質量×上段加速度)を作用させた。加振方向 は、摩擦サイドブロックを設置した東西の一方向とし た。なお、下段フレームは加振テーブルに固定させて いるため、加振テーブルに入力する加速度波形は、下 部工天端に作用する加速度波形と同等である。





表1 実験模型の諸元

項目		備考
上段総重量	507 kN	カウンターウェイトを含む
ゴム支承ばね剛性	4.7 kN/mm	1.17kN/mm×4基
上段の1次固有周期	0.66 sec	上段総重量とゴム支承ばね剛性から算出
サイドブロック設定荷重	350 kN	175kN×2基



(a) 実験模型全景



(b) 摩擦サイドブロック設置状況写真1 実験状況

3.1.2 摩擦サイドブロック 振動台実験に用いる 摩擦サイドブロックの構成部品を写真 2 に、組立図 を図 6 に示す。また、静的加力による事前検査から 確認した各試験体の摩擦力一覧を表 2 に、設置位置 を図 7 に示す。試験体は、実橋梁に適用するものに 対し約 1/2 スケールを想定したものである。試験体 1 基当りの設定摩擦力は 175kN とした。本実験では、 上部工総重量約 507kN に対して水平震度 0.7 相当 (500×0.7=350kN)で稼働するように、摩擦サイドブ ロックを並列に2基(175×2=350kN)設置した。なお、 事前検査から、T型ブロックを含む摩擦サイドブロッ ク全体の弾性剛性は平均 138kN/mm であった。



写真2 摩擦サイドブロックの構成部品



	表2	試験体の摩擦カー	-覧
--	----	----------	----

_							「新潮」	サイドブロック			
Ē	式験体	1基:	当りの	合計	設定値	合計/	1	上沓プレート			
セ:	ット番号	摩擦ナ	Ե [kN]	[kN]	設た삩	設定値					
	西側	南西	170	337		0.96	. [南西 北西			
T	(正側)	北西	168	007		0.00	.				
U	東側	南東	166	220		0.04	.				
	(負側)	北東	164	330		0. 54					
	西側	南西	186	269	8 350 7	1 05	[南]		[[#L]		
0	(正側)	北西	181	300		1.05	e				
Ø	東側	南東	187	277		1 09	ふく				
	(負側)	北東	189	3//		1.00	₩Å	南東北東			
	西側	南西	174	242		0.00	蕭	、 _ 「東]			
(2)	(正側)	北西	170	343		0.90	** [#				
3	東側	南西	170	241]	0.00	- (14		-		
	(負側)	北西	172	341		0.90	_	図 / 設置位置	<u>5</u>		

3.2 計測項目と応答値の定義

計測項目と応答値の定義を表3および図8に示す。 また、計測状況を写真3に示す。加速度は、上段お よび加振テーブル各々の中央に設置した加速度計に より計測し、支承変位は上段フレームと下段フレーム の層間に設置したレーザー変位計により計測した。ま た、支承反力は各ゴム支承下に設置した三分力計によ り計測し、摩擦サイドブロック反力は上段慣性力(上 段加速度×上段質量)から支承反力を差し引くことで 算出した。加振方向は、摩擦サイドブロックを設置す るY方向(東西)は西向きの加速度を正とし、直交する X方向(南北)は北向きの加速度を正とした。なお、サ ンプリング周波数は200Hz(0.005sec)とし、計測され たデータを40Hz(0.025sec)で移動平均して用いた。

表3計測項目と応答値の定義

項目	極性	内容					
加速度 テーブル	Y[西:+、東:-]	 振動台テーブル上に設置した加速度計により計測 					
[cm/sec ²] 上段	X[北:+、南:-]	・上段フレーム上に設置した加速度計により計測					
古承亦位 [mm]	Y[西:+、東:-]	・下段フレームと上段フレームの相対変位をレーザー変位計					
又示发世〔□□□□〕	X[北:+、南:-]	により計測					
支承反力 [kN]	Y[西:一、東:+]	 ・各ゴム支承下に設置した三分力計により計測 					
	X[北:-、南:+]	・4箇所 (NE, NW, SE, SW) の合計値					
信性力 [kN]	Y[西:+、東:-]	・上段の加速度に上段の総質量を乗じて算出					
	X[北:+、南:-]	 ・慣性カ=上段加速度×上段フレーム質量 					
サイドブロック反力	Y[西:一、東:+]	・慣性力と支承反力との差分により算出					
[kN]	X[北:-、南:+]	・サイドブロック反力=慣性力-支承反力					
サイドブロック変位	V[冊·十	・ダイスとロッド間の摺動量を、ひずみ式変位計に					
[mm]		より計測					
支援変位(サイドブロック変位)							



図8 応答値の定義



写真3 計測状況

3.3 入力地震動

入力地震動の加速度波形を図9に、諸元を表4に 示す。入力地震動は、道路橋示方書Vに示されるレベ ル2地震動・2種地盤の時間軸に相似率(1/1.49)を乗 じた波形を用いた¹⁰⁾。本実験では、レベル2地震動6 波のうち、タイプI(プレート境界型)およびタイプII (内陸直下型)から各1波ずつ選定して加振を行った。



入力波	最大加速度 [cm/sec ²]	継続時間 [sec]	概要
\$17° I (I-II-2)	675	160	「H24道示V:道的解析に用いる振幅調整した加速 度波形をもととした強震記録」中のレベル2地震
タイフ [°] 耳 (耳-耳-2)	673	26.7	動・Ⅱ種地盤6波のうちタイプⅠ及ぴタイプⅡから各々 1波ずつ選定し、時間軸縮尺1/1.49に補正

3.4 加振 Case

加振 Case 一覧を表 5 に示す。まず Case1 では、 タイプ I 地震時における摩擦サイドブロックの履歴 特性を確認した。次に Case2 では、タイプ II 地震時 における摩擦サイドブロックの履歴特性を確認する とともに、同一波形による加振を繰り返し 3 回行う ことにより、摩擦サイドブロックと上沓プレートとの 隙間の大きさの違いによる応答値の変化を確認した。 さらに Case3 では、X 方向と Y 方向で同一波形を 2 方向に同時入力(45 度加振)することにより、摩擦サイ ドブロックが橋軸直角方向に相当する Y 方向の固定 機能を発揮しつつ、橋軸方向に相当する X 方向の支 承変位を妨げることが無いか確認した。なお、各 Case とも、前述した入力波形に表 5 中に示す加速度入力 倍率を乗じた入力波により加振した。

加振波形名	波形名	加振方	加振	加速度 入力 倍率	最大加速度 [cm/sec ²]			備考
0456		I III	100 PP*	[%]	Y	Х	合力	
					方向	方向	方向	
1	I – II −2		1	120%	810	-	-	・タイプI地震時の挙動を確認
2	ІІ – ІІ −2	X 1方向	1 2 3	90%	606	-	-	 ・ ۶イフ[°] Ⅱ 地震動時の挙動を確認 ・ 同一波を繰返し3回加振し、 隙間の影響を確認
			1	10%	68	68	95	
3 І – ІІ –2	XY	2	20%	135	135	191	・2 方向加振時の挙動を確認	
	τ_π_2	-II-2 (45度 方向)	3	30%	203	203	286	 45°方向から荷重を受けて
	1 – П – С		4	50%	338	338	477	も、サイドプロックとしての固定
			5	70%	473	473	668	機能を保持できるかを確認
		6	90%	608	608	859		

表5 加振 Case 一覧

※加振 Case1, 2, 3 には、表 2 中に示す試験セット①, ②, ③を使用

4. 実験結果

4.1 加振 Case1 (タイプ I 地震動)

実験で得られた時刻歴波形を図10に、荷重-変位 関係を図11に示す。また、最大応答値一覧を表6に 示す。図 11(b)中には、表2に示した事前検査値も合 わせて示している。まず、図10より、加振開始後52sec までは上段加速度が 700cm/sec²に達しておらず、支 承変位およびサイドブロック変位も生じていない。そ して、上段加速度が 700cm/sec²に達した 52sec を境 に、支承変位およびサイドブロック変位が生じ始めて いることがわかる。サイドブロック変位は、いずれも 支承変位と良く対応しており、また北東と南東で同値 かつ北西と南西で同値であることから、並列に複数設 置しても捩れ挙動が生じていないことがわかる。つぎ に図 11 より、摩擦サイドブロックは、正負ともに 350kN 程度で反力が頭打ちとなり、並列に設置した 2 基の摩擦サイドブロックが各個撃破されること無 く、事前に想定した通りの完全弾塑性型の骨格曲線を 示していることがわかる。なおゴム支承は、設計値と 同程度の剛性で弾性挙動していた。

以上より、東北地方太平洋沖地震(2011.3)のような プレート境界型のレベル2地震動(I-II-2)に対して、 摩擦サイドブロックが各個撃破されず所定の耐震性 能を発揮することが確認できた。





サイド ブロック 反力 テーブル 加速度 上段 加速度 支承 反力 支承 変位 慣性力 SB SB SB SB (北西) (北車) (南東) (南西 MAX 748 92 24 0 22 22 0 476 146 354 -24 -22 0 -22 -342 MIN

4.2 加振 Case2(タイプⅡ地震動、繰り返し加振)

1~3 回目の各加振で得られた摩擦サイドブロック の履歴曲線を図12に示す。また、各加振の前後にお ける、摩擦サイドブロック先端と上沓プレート間の隙 間(以下、ガタ)の推移を図 13 に、加振 3 回目後の摩 擦サイドブロックの変位状況を写真 4 に示す。ガタ は、東側のサイドブロック変位(南東と北東の平均)と 西側のサイドブロック変位(南西と北西の平均)の最 大値の合計と定義する。まず図 12 より、1~2 回目で は、摩擦サイドブロックの反力が設計摩擦力(350kN) に達するものの概ね弾性挙動し、固定機能を発揮した。 さらに、3回目では、前項(Case1)と同様に摩擦サイ ドブロックが正負ともに350kN程度で反力が頭打ち となって 30mm 以上変位して完全弾塑性型の骨格曲 線を示したことから、兵庫県南部地震(1995.1)のよう な内陸直下型のレベル 2 地震動(Ⅱ-Ⅱ-2)に対しても 所定の性能を発揮することが確認できた。

Case2 では1~3回目とも同じ入力波形で加振した にもかかわらず、1~2回目までと3回目で異なる挙 動を示した。これは、加振前の時点におけるガタの大 きさが影響していると考えられる。図13より、摩擦 サイドブロックが弾性挙動した1~2回目は、加振開 始時点のガタが4mm未満と小さく、弾塑性挙動した 3回目は、加振開始時点で6mm程度と大きかった。 すなわち、ガタが大きくなる程に摩擦サイドブロック が上沓プレートに衝突する際の相対速度、さらには衝 突エネルギーが大きくなるため、その衝突エネルギー を消散するために摩擦サイドブロックが弾塑性挙動 したと考えられる。従来のサイドブロックでは、施工 誤差等による5mm程度の隙間が許容されているが、 摩擦サイドブロックは、2章で述べたように2段階の 取付け手順を踏むことで施工誤差を吸収し、隙間を極 カゼロにできる。実験結果からもわかるように、ガタ が小さい程にサイドブロック衝突時の衝撃力を緩和 できることから、隙間ゼロで設置できることは、摩擦 サイドブロックの特長といえる。なお、写真4より、 ロッド先端と上沓プレートの衝突部分は、少し凹み痕 が付いた程度の軽微な損傷であった。





(a) 摩擦サイドブロック設置部の全景



(b) 摩擦サイドブロック先端と上沓プレート衝突部 写真4 3回目加振後の摩擦サイドブロックの変位状況

4.3 加振 Case3 (タイプ I 地震動、2 方向加振)
 6 回目(入力倍率 90%)の加振で計測された加速度、
 支承反力および支承変位の軌跡図を図 14 に示す。ま

た、1~6回目(入力倍率10、20、30、50、70、90%) の各加振毎の最大応答値の推移を図15に示す。図15 より、X方向とY方向ともに同じ加速度で45度方向 に加振した結果、摩擦サイドブロックを設置していな い X方向では、入力倍率の増大とともに支承変位が 増大して最大86mmに達しているのに対し、摩擦サ イドブロックを設置したY方向では、入力倍率とと もに支承変位も増大しているものの最大5mmであ り、摩擦サイドブロックに求められる固定機能を十分 に果たしていることがわかる。

以上より、摩擦サイドブロックは、Y 方向(橋軸直 角方向)の固定機能を発揮しつつ、X 方向(橋軸方向) の支承変位を妨げないことが確認できた。



5. まとめ

以上、ダイス・ロッド式の摩擦機構を応用した「摩 擦サイドブロック」の概要および振動台実験について 述べた。得られた知見を以下に示す。

1) 摩擦サイドブロックは、所定の荷重に達すると摩 擦機構がリミッターとして機能し、その後一定の摩擦 抵抗力を保持することで、特定のサイドブロックに荷 重集中しても、順次全てのサイドブロックに荷重が分 配されるため、各個撃破を回避できる。

2) 振動台実験の結果、プレート境界型(タイプI)と 内陸直下型(タイプII)のいずれのレベル2地震動に対 しても、複数並列に設置した摩擦サイドブロックが各 個撃破される事無く所定の性能を発揮した。

3) 摩擦サイドブロックは、2段階の設置手順を踏むことで取付け時の施工誤差を吸収し、隙間ゼロで設置できる。隙間ゼロは摩擦サイドブロックの特長の一つであり、その効果は、振動台実験からも確認できた。
4) 2方向加振(45度加振)の結果、摩擦サイドブロックは、橋軸直角方向の固定機能を発揮しつつ、橋軸方向の支承変位を妨げないことが確認できた。

【謝辞】本研究は、首都高速道路(株)と青木あすなろ建設 (株)の共同研究「既設橋梁の耐震性向上技術に関する研究」 に関する研究成果の一部である。また、振動台実験は、独 立行政法人土木研究所が保有する3次元大型振動台を用い て、2016年1月末に実施した。本実験の計画、遂行および 実験結果のまとめに際して、関係各位には懇切丁寧に指導 して頂いた。ここに、感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 山田金喜ほか:東北地方太平洋沖地震により被災した 東部高架橋のゴム支承に関する解析的検討,土木学会 構造工学論文集, Vol.59A, pp.527-539, 2013.3
- 2) 松永昭吾ほか:構造物調査報告(3)大切畑大橋の被害状況,土木学会熊本地震被害調査結果速報会,2016.4, http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/76
- (3) 蔵治賢太郎:高性能制震デバイスと支承サイドブロックの開発,土木施工, Vol.56, No.9, pp.89-92, 2015.9
- 4) 首都高速道路(株):橋梁構造物設計施工要領, 2015.6
- 5) 蔵次賢太郎ほか:地震時の損傷を制御する支承サイド ブロックのFEM解析による形状検討,土木学会第70回 年次学術講演会梗概集,I-136, pp.271-272, 2015.9
- 6) 張広鋒ほか:地震時の損傷を制御する支承サイドブロックの開発に関する実験,土木学会第70回年次学術講演会梗概集,I-136, pp.273-274
- 本荘清司ほか:ノックオフ機能付き支承構造を用いた 既設橋梁の耐震補強対策,土木学会構造工学論文集, Vol.55A, pp.506-514, 2009.3
- 北嶋圭二ほか:既存 RC 造建物の制震補強用摩擦ダン パーに関する研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.385-390, 1999
- 9) 波田雅也ほか:既設橋梁の耐震性向上に用いるダイス・ロッド式摩擦ダンパーの開発,コンクリート工学年次論文集,Vol.38,No.2,pp.1003-1008,2016
 10) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V,2012.3