

論文・報告

なごみ橋災害復旧工事施工報告

Repair Works of NAGOMI BRIDGE Damaged by Chuetsu-Oki Earthquake

平澤 伸佳 *1
Nobuyoshi HIRASAWA鴨野 一夫 *2
Kazuo KAMONO片山 義孝 *3
Yoshitaka KATAYAMA堀内 美知男 *4
Michio HORIUCHI

なごみ橋は、二級河川鯖石川に架かる鋼三径間連続非合成 I 桁橋（2004 年竣工：橋長 112.5m）である。本橋は 2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震により、支承、伸縮装置、橋台パラペットにおいて顕著な損傷が生じたため、被災前の構造・機能回復を図る目的で災害復旧を行った。特に支承ゴムの変形に関しては、常時および地震時（レベル 1）の許容変形量を超過した状態で約 1 年経過しており、今後の使用を踏まえた耐久性を施工と並行して確認する必要がある。本報告では、通常の工事では体験できない支承ゴム異常変形の解放方法を含めた施工方法、被災後の支承ゴムの耐久性等の性能試験結果について述べる。

キーワード：災害復旧、支承ゴム変形解放、被災後の支承ゴムの性能試験結果

1. はじめに

本橋においては、新潟県中越沖地震により下部工が沈下・移動した。しかし、橋台基礎杭の被害は軽微で、供用する上では問題ないと被災直後の調査で報告され、被害が大きい上部工、および躯体以下の部分を除く下部工に対して、損傷した箇所の復旧工事が、新潟県柏崎地域振興局から発注され、当社が施工を実施した。

本工事では、足場設置後に橋梁全体の詳細測量を行い、目視確認できる破損箇所の原因を特定し、発注者、設計コンサルタントおよびゴム支承協会と協議を行い、最適な復旧手順・補修方法を決定した。

工事名：一般県道黒部柏崎線（なごみ橋）

19 年災橋りょう災害復旧工事

発注者：新潟県柏崎地域振興局

工事場所：新潟県柏崎市原町～大字山本内地内

工期：2008 年 3 月 6 日～2009 年 3 月 13 日

2. 被災原因の特定

被災により現地に基準点がないため、新たに橋全体の座標を構築し、設計当初と被災後の相対的な比較を行った。その結果、図 1 のとおり地震時に両橋台が橋梁中央部へ移動・沈下したことが、さらに A2 橋台では、橋軸直角方向下流側に移動していることが分かった。

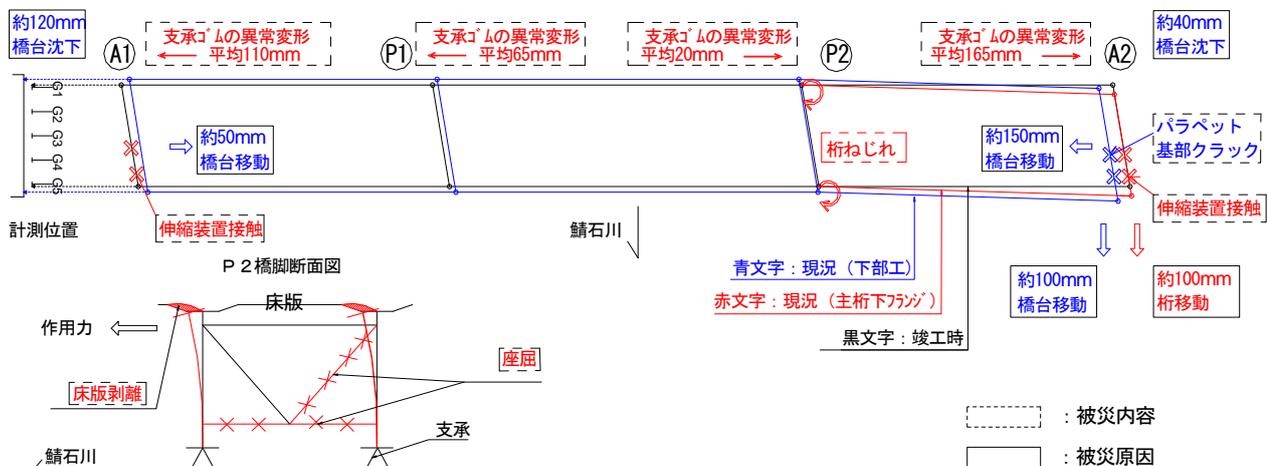
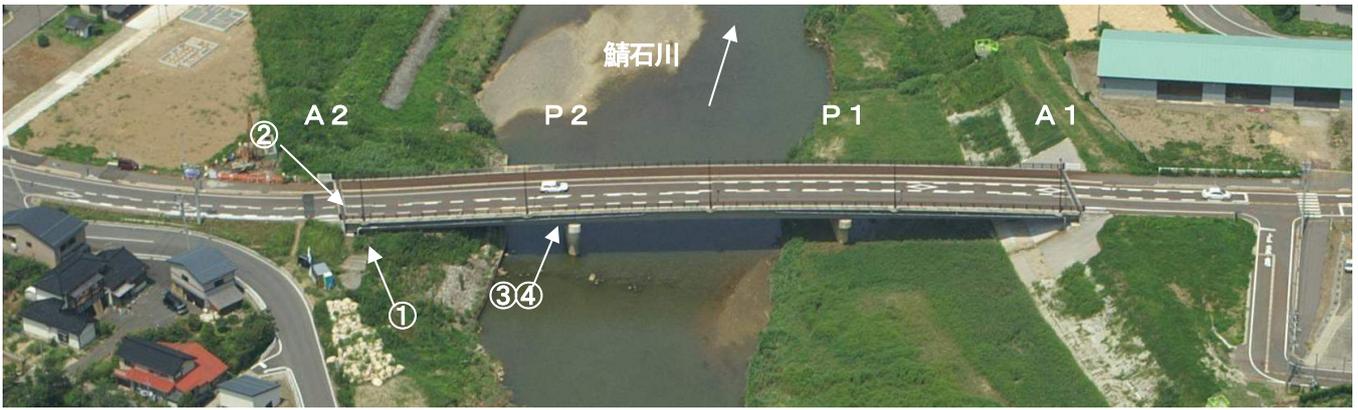


図 1 なごみ橋被災原因および被災内容

*1 川田建設(株) 保全事業部北陸支店 係長
*2 川田建設(株) 保全事業部北陸支店 次長
*3 川田建設(株) 保全事業部北陸支店 課長

*4 川田建設(株) 事業推進部北陸支店



なごみ橋 全景



支承ゴムの異常変位



伸縮装置の接触・段差



対傾構部材の座屈



床版－主桁隙間

写真1 なごみ橋被災状況写真

これらにより伸縮装置が衝突し、橋台パラペットが破損、そして支承ゴムの異常変形を引き起こした。また橋軸直角方向の移動は、P2 橋脚付近の対傾構部材の座屈を起こし、そして主桁のねじれとなって、床版コンクリートの剥離が生じたものと原因を特定した（写真1）。

なお、伸縮装置接触部撤去から取付道路復旧までの期間は車両通行止めとして工事を行い、その間の歩行者および自転車の利用については写真2 のとおりの仮歩道を設置し対応した。

表1 被災内容および施工（復旧）内容

被災内容	被災箇所/復旧箇所	施工（復旧）内容
ゴム支承の異常変形	A1・A2・P1	支承据直・嵩上
伸縮装置の接触・段差	A1・A2	伸縮装置取替
パラペット基部クラック	A1・A2	パラペット・踏掛版打替等
対傾構等の座屈・変形	P2付近	座屈・変形部材取替
床版コンクリートの剥離	P2付近	床版断面補修

3. 復旧手順

測量結果より、A2 橋台が上、下部工とも下流側に移動していることが判明した。そのことは、下部工が移動した際に伸縮装置が接触・抵抗したことにより上部工も追従し移動したと想定され、伸縮装置の接触を解除した場合、下部工との拘束が解放され、上部工のみ下流側に戻り、P2 橋脚付近の主桁の倒れも改善されることが予想された。よって、復旧手順は伸縮装置の接触箇所を解除し橋梁全体の内部拘束を解放した後、他の損傷箇所の復旧・補修を行うこととした（図2）。



写真2 仮歩道設置状況

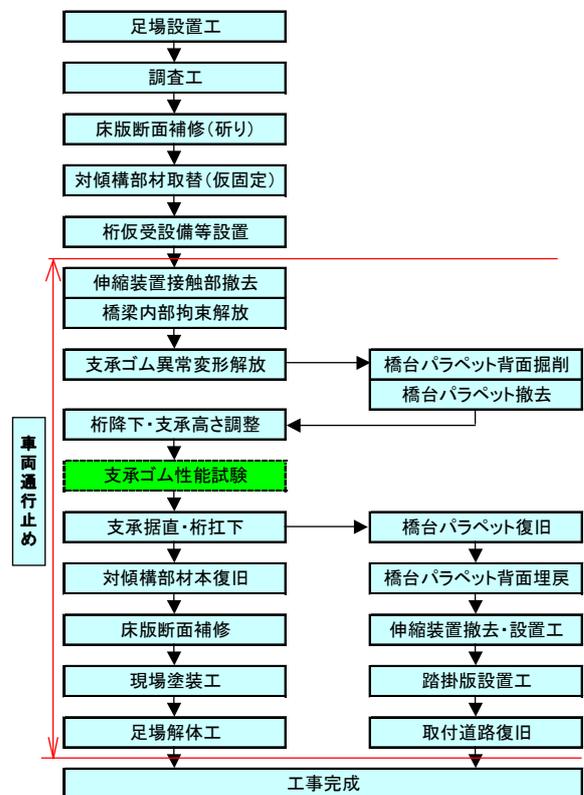


図2 施工フローチャート

4. 伸縮装置接触部撤去・橋桁の拘束解放

A2 橋台で発生している橋桁の拘束解放では、解放時の水平力について、支承ゴムの橋軸直角方向の変位量より約 1,000 kN（表 2）と推定した。

解放手順は図 3 に示すとおり、拘束解放時の急激な桁移動に対処するよう、治具を取り付け慎重に行った。

治具は、直角方向力用のセンターホールジャッキと鋼棒組み合わせのもの、橋軸方向の動きに対する油圧ジャッキの 2 タイプ取り付けた。

鋼棒の緊張とジャッキを加圧し拘束後、伸縮装置接触部の撤去を行った後、徐々に緩め、橋梁拘束を解放した（写真 3, 4）。なお、拘束解放時の水平力はセンターホールジャッキ 1 台当たり 150 kN、計 300 kN であった。また、A2 橋台の桁戻り量に関しては拘束解放直後 10 mm 程度であったが、約 1 ヶ月経過で 50 mm まで上流側に戻り安定した状態となった。

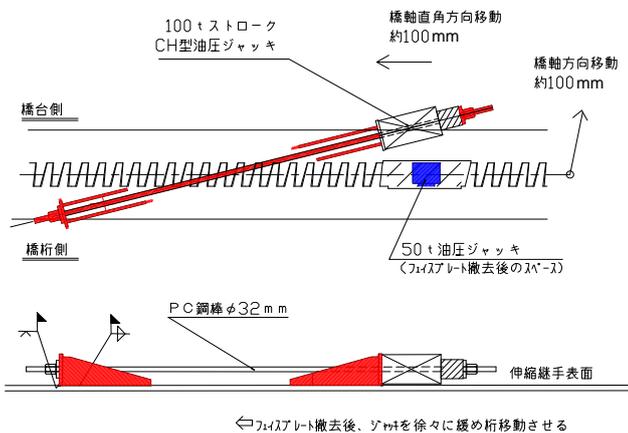


図 3 橋梁拘束解放図



写真 3 伸縮装置接触部撤去



写真 4 橋梁拘束解放



写真 6 支承ゴム変形解放



写真 7 支承ゴム変形解放

5. 支承ゴム異常変形解放

橋梁拘束解放後、支承ゴムの異常変形の解放を行った。支承ゴムの異常変形解放時の水平力に関しては支承ゴムの橋軸方向の変形量より算出した（表 3）。なお支承ゴムの変形量の和により保たれている橋梁全体のバランスが各箇所の変形解放時に崩れ、桁が橋軸方向に移動することが予想されたことから、橋梁のバランスの崩れを極力少なくするため A1→A2→P1 の順で解放作業を行った。

5.1 A1・A2 橋台

解放手順は図 4 に示すとおり橋台部、橋脚部に反力受台を設置し、その間に油圧ジャッキのシリンダーを最大に張り出して設置し、その後桁を 5 mm 程度ジャッキアップし下柵とベースプレートとの縁を切り、油圧ジャッキのシリンダーを徐々に緩め支承ゴムの変形を解放した（写真 5, 6, 7）。

なお、変形解放時の最大水平力については、A1・A2 橋台ともにゴム支承の変形量とせん断剛性により算出した水平力の 50%~60% であった。また残留変形量については、両橋台ともに支承ゴム変形解放前の変形量の約 10% であった。



写真 5 支承ゴム異常変形解放治具

表 2 伸縮装置接触部解放時の水平力の算出

	A1					P1					P2					A2				
	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5
橋軸直角方向の 支承ゴム変形図	□					→ □					→ □					□				
支承ゴム変形量 (橋軸直角方向) mm	0	0	0	0	0	10	11	14	10	14	22	22	26	21	26	0	0	0	0	0
せん断剛性 kN/mm	1.521					5.415					5.415					1.521				
水平力 kN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.2	59.6	75.8	54.2	75.8	119.1	119.1	140.8	113.7	140.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0					319.6					633.5					0.0				
	953.1																			

表 3 支承ゴム異常変形解放時の水平力の算出

	A1					P1					P2					A2				
	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5
橋軸方向の 支承ゴム変形図	←					←					→					→				
支承ゴム変形量 (橋軸方向) mm	104	106	112	115	113	52	61	65	66	72	24	23	20	19	18	167	163	156	157	152
	(平均) 110.0					(平均) 63.2					(平均) 20.8					(平均) 159.0				
せん断剛性 kN/mm	1.521					5.415					5.415					1.521				
水平力 kN	158.2	161.2	170.4	174.9	171.9	281.6	330.3	352.0	357.4	389.9	130.0	124.5	108.3	102.9	97.5	254.0	247.9	237.3	238.8	231.2
	(平均) 167.3					(平均) 342.2					(平均) 112.6					(平均) 241.8				

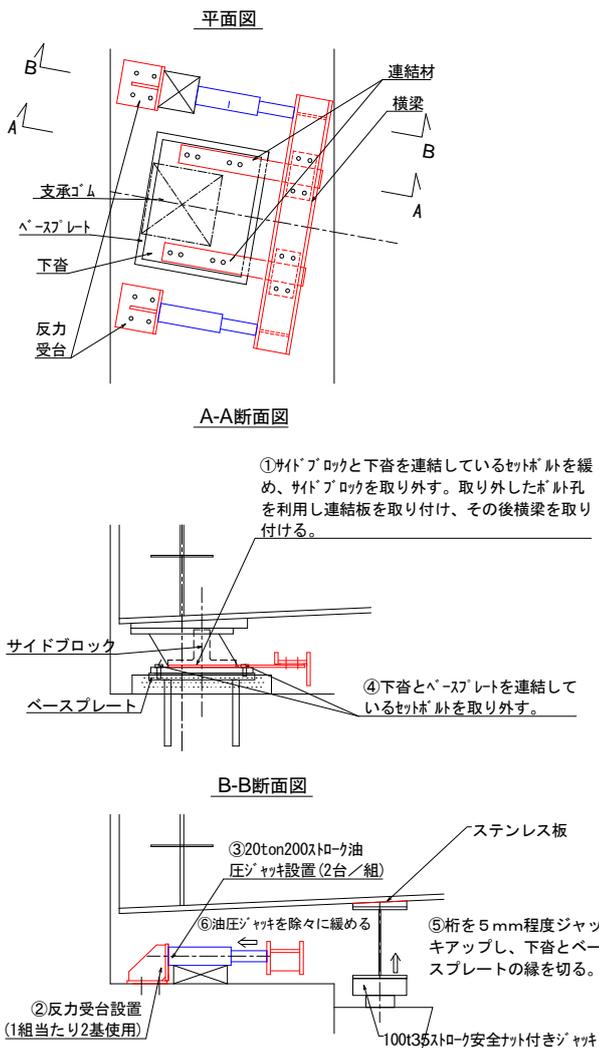


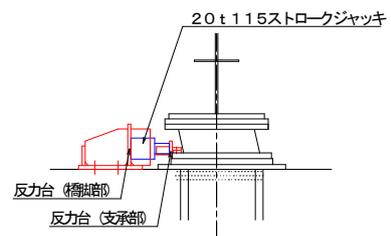
図 4 A1・A2 橋台支承ゴム異常変形解放図

5.2 P1 橋脚

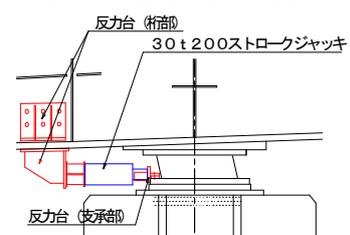
反力受台の設置は図 5 に示すとおりとし、A1・A2 橋台同様に反力受台設置、ジャッキ設置、ジャッキアップ、支承ゴム異常変形解放の手順で支承ゴムの変形解放作業を行った(写真 8)。

なお、変形解放時の最大水平力は、計算値の 45%～55%であった。また、残留変形量は支承ゴム変形解放前の変形量の約 15%であった。

支承ゴム異常変形解放 (橋軸直角方向)



支承ゴム異常変形解放 (橋軸方向)



反力部詳細

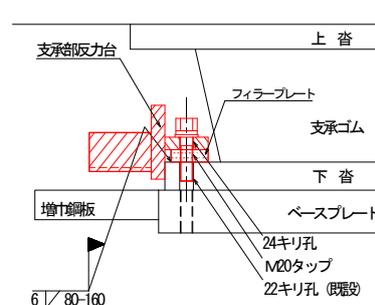


図 5 P1 支承ゴム異常変形解放図



写真 8 支承ゴム異常変形解放治具

5.3 残留変形量の判定

支承ゴム変形解放後も各箇所において残留変形が生じたため、その変形量が今後供用させる上で問題がないか判定する必要がある。判定方法は、支承ゴムの許容せん断ひずみ（常時）についてゴム厚の70%と道路橋支便覧に規定されており、その値から温度伸縮量を引いた値を許容残留変形量とし判定を行った。結果は表4に示すとおりすべての箇所において許容残留変形量内であり、今後供用する上で問題ないと判断した。

表4 残留変形量の判定結果

橋台橋脚番号	単位	A1	P1	P2	A2
ゴム厚さ[T]	mm	90	60	60	90
許容せん断ひずみ(常時)[γ_{sa}]	mm	63	42	42	63
総温度伸縮量[$\gamma_{50^{\circ}\text{C}}$]	mm	33.45	12.45	12.45	33.45
1℃あたり温度伸縮量[$\gamma_{1^{\circ}\text{C}}$]	mm	0.67	0.25	0.25	0.67
許容残留変形量[γ] ($\gamma_{sa} - \gamma_{50^{\circ}\text{C}}$)	mm	29.55	29.55	29.55	29.55
残留変形量(各箇所最大値)[L1] (計測時の温度:23℃)	mm	15	14	23	18
温度補正量(23℃-15℃=8℃)[L2]	mm	5.36	2.00	2.00	5.36
残留変形量(標準温度補正)[L] (L1-L2)	mm	9.64	12.00	21.00	12.64
判定 ($\gamma > L$)		O.K	O.K	O.K	O.K

温度伸縮量($\gamma_{50^{\circ}\text{C}}$)
 橋台: $(35.0 + 41.5/2) * 0.6 = 33.45\text{mm}$
 橋脚: $(41.5/2) * 0.6 = 12.45\text{mm}$

6. 支承据直・支承アンカーボルト健全度試験

支承ゴム異常変形解放後、基準高まで桁扛上を行い(写真9, 10)、支承ゴム異常変形解放時に生じた下沓とベースプレートのずれはベースプレートに増幅鋼板を継ぎ足し対応した。また高さ調整については下沓とベースプレートの隙間にフィラープレートを挿入して支承据直しを行った(図6, 7)。なお、支承据直し施工と並行して被災により支承アンカーボルトに破損はないか超音波パルス法による非破壊試験を実施した結果、支承アンカーボルトについて破断等の損傷は見られなかった(写真11)。



写真9 A1 桁扛上状況 (下部工付きブラケット工法)



写真10 P1 桁扛上状況 (主桁付きブラケット工法)



写真11 アンカーボルト健全試験状況



写真12 着手前・完成写真

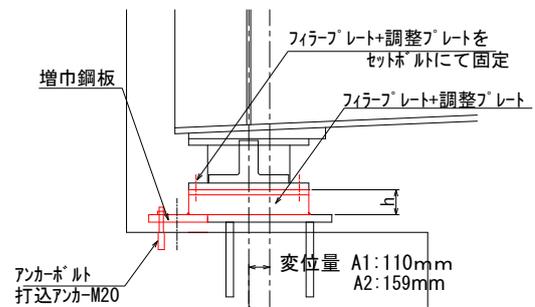


図6 A1, A2 支承据直方法

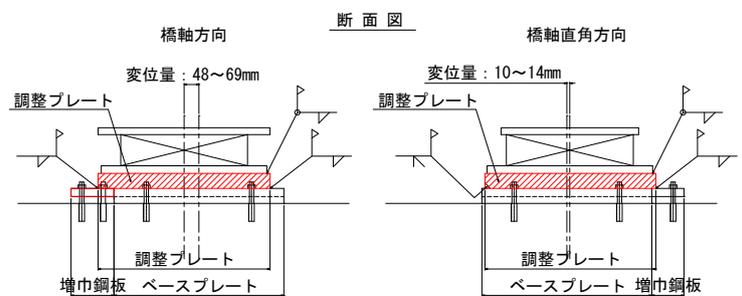


図7 P1 支承据直方法

7. 下部工等復旧

支承据直完了後、下部工と上部工の復旧施工を並行してすすめ本工事は完了した。

下部工関係については図8に示す橋台パラペットの施工を行い、その後伸縮装置、踏掛版、取付道路の順で復旧を行い(写真12)、上部工についてはP2橋脚の対傾構部材復旧、床版断面補修、現場塗装の順で復旧を行った(写真13)。

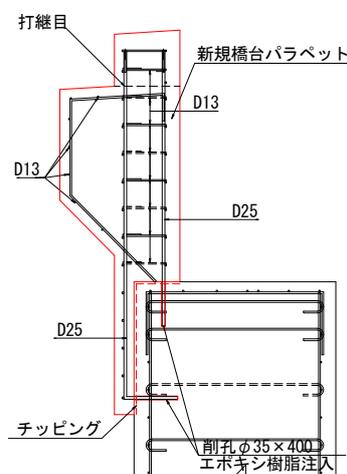


図8 橋台パラペット施工図



着手前(A1橋面)



完成(A1橋面)



写真 13 着手前・完成写真

8. 支承ゴムの性能試験

冒頭にも述べたように支承ゴムの変形量に関する常時および地震時（レベル1）の許容変形量を超過した状態で約一年経過しており、今後の使用を踏まえた耐久性を確認する必要があるため、発注者と協議し現在一番変形量の大きい支承ゴムの性能試験を実施し、問題がなければ他の支承ゴムも問題ないと判定することとした。

8.1 支承ゴムの性能試験要領

支承ゴム性能試験は工事と並行して実施するため、工程に影響が生じないよう試験に費やす期間が短く、かつ支承ゴムの性能に問題がないことが確認できる最適な試験内容を、発注者、ゴム支承協会および当社で協議を行い、表5に示すとおりの内容で試験を行うこととした。

表 5 性能試験要領

・試験項目、試験条件及び測定方法（道路橋支承便覧H16年4月に準拠）

項目	試験条件	評価項目
圧縮強度	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直荷重：0～最大反力載荷 載荷回数：3回 評価：3回目の値 	<ul style="list-style-type: none"> 回転照査時最大反力時の圧縮変位量が、回転変位以上 端支点部は照査荷重時の圧縮変位量が設計値以上 外観に異常がない事を確認する。
せん断試験	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直荷重：死荷重反力載荷 水平変位：総ゴム厚の±175%またはレベル2地震動の有効設計変位の正負繰り返し 加振回数：3回 評価：3回目の値 	<ul style="list-style-type: none"> 測定したせん断ばね定数と設計値を比較し、妥当性を確認する。（せん断ばね定数が設計値に対して±10%以内。） 外観に有害な変形がなく、異常がないこと。

8.2 支承ゴムの性能試験結果

(1) 圧縮変形量

表6は最大荷重858kN時の圧縮変形量を示す。

表 6 圧縮試験結果

圧縮変形量				
設計値 (mm)	合否 判定基準	①被災前 H15.11.10	②被災後 H21.9.18	変位量 (②/①)
1.02	設計値以上	2.846	2.330	0.819

被災前の値に対して圧縮変位量は小さくなり、鉛直力に対して硬化していたが、桁の回転変位量1.02mmに対して吸収できる範囲であった。

(2) せん断剛性

表7は±175% [157.5mm]変位時のばね定数を示す。

表 7 せん断試験結果

せん断剛性				
設計値 (kN/mm)	合否 判定基準	①被災前 H15.11.10	②被災後 H21.9.18	変位量 (②/①)
1.490	設計値 ±10%	1.500	1.547	1.031

被災前の値に対して、せん断ばね値が大きくなっていたが、許容範囲内であった。

(3) まとめ

性能試験の結果、性能定数は完成当初に比べ変化しているものの、許容値内にあり、本支承ゴムを用いても今後の使用に関しては問題ないと判断した。

9. おわりに

本工事は、被災後約一年経過した時点で、なお下部工により拘束されていた橋梁を、破損させることなく段階的に、拘束力の解放を行い、無事工事を終了することができた。また、被災を受けた支承ゴムも性能試験により、今後の使用に耐えうると判断された。

今後震災等により同様のケースが生じた場合において本報告書が参考となれば幸いです。

最後に本工事を無事完了するためにご指導を頂いた新潟県柏崎地域振興局の皆様、またこの工事に協力・指導して頂いた皆様に深く感謝を申し上げ、本報告を終えさせていただきます。