

## 熊本地震後のゴム支承の損傷状態から推定する地震時挙動

江口 康平<sup>1</sup>・余野 智哉<sup>2</sup>・中尾 尚史<sup>3</sup>・大住 道生<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士（工学） 国立研究開発法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

<sup>2</sup>正会員 国立研究開発法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

<sup>3</sup>正会員 博士（工学） 国立研究開発法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

<sup>4</sup>正会員 修士（工学） 国立研究開発法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

### 1. はじめに

2016年に発生した熊本地震では、地震動および地盤変状により多くの道路橋が被害を受けた。特に主要地方道熊本高森線では、甚大な被害が生じた橋梁が多く、機能の復旧が速やかに行えなかった事例がいくつか存在した<sup>1) 2)</sup>。地震動による橋梁部材の破壊挙動を把握することは、今後の耐震設計の信頼性および復旧の容易さを向上させる上で非常に重要である。地震により橋梁に大きな損傷が生じると、被災橋梁の架橋位置近傍の地震動を推定し、動的解析により地震被害を再現する取組が行われることがあるが、次のような課題がある。

- ・地震動の強度、周期特性、位相特性、継続時間の全てを精度良く再現することは困難であり、かつ再現精度を直接的に確認することができないこと。
- ・各部材の力学的特性をモデルに反映する必要があるが、予め各部材の力学特性について繰返し载荷の影響、劣化の影響、ばらつき等も含めて把握できないと解析精度が確保できないこと。
- ・地盤特性を正確にモデル化することが困難であること。
- ・以上の問題から、仮に動的解析による解析結果が被災状況と合致したとしても、それがなぜ合っていたかということ客観的に示すことが困難であり、したがって普遍的かつ合理的な対策を導き出すことが困難であること。

そのため、著者らは、地震被害を教訓に橋梁の耐震設計法の改善を図ることを目的に、地震による損傷痕を根拠に橋梁の地震時挙動を推定した。

本論では、熊本地震により支承の破壊などの被害が生じた俵山大橋のゴム支承に着目して、設計荷重、荷重の伝達経路および実際にゴム支承に生じていた損傷痕を詳細に調査することで地震時挙動の推定を試みた。

### 2. 俵山大橋付近の地震動の概要

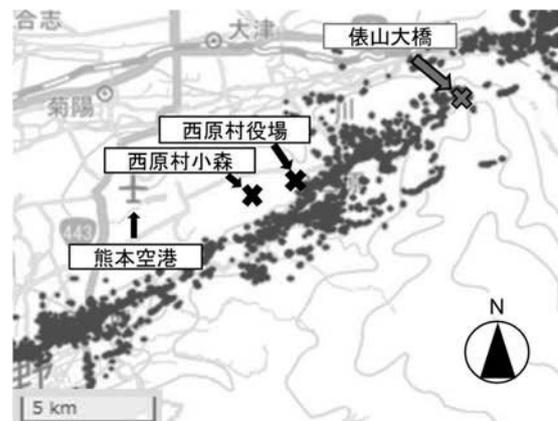


図-1 熊本地震により生じた亀裂分布  
Nishihara(Displacement)

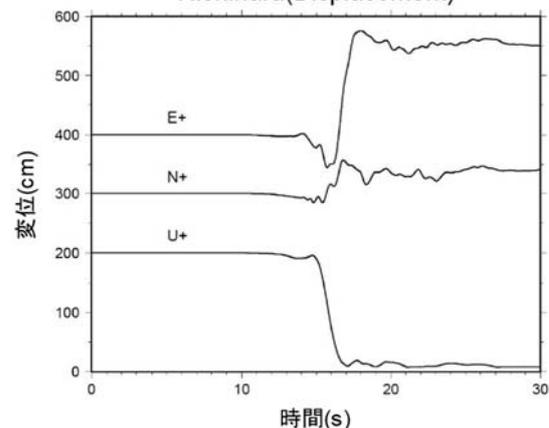


図-2 西原村小森付近の変位(4月16日1時25分)

国土地理院が調査した航空写真判読による対象橋梁付近の地表の亀裂分布<sup>3)</sup>に位置情報を追記したものを図-1に示す。本論で検討対象とした俵山大橋は亀裂分布帯の中に存在していることが確認できる。また、4月16日1時25分に観測された西原村小森付近の地震動の加速度から、岩田が計算により求めた時系列地表面変位を図-2に示す<sup>4)</sup>。変位記録を見ると、東方向および下方向に大きく変化し、北方向にも変動が確認されている。またそれらの変位は、

殆ど残留している結果となっており、このことから、俵山大橋付近においても地盤の変動が生じていたことが推定される。

### 3. 俵山大橋に生じた被害

#### (1) 俵山大橋の概要

俵山大橋の一般図を図-3に示す。俵山大橋は橋長140mの三径間連続非合成鋼桁橋で、下部構造は逆T式橋台および張出し式橋脚、支承形式は水平力分散ゴム支承が使用されている。そして、レベル2地震動が規定されているH8年道路橋示方書に基づ

いて設計され、2001年に竣工された。

#### (2) 俵山大橋に生じた主な変状

前述したように俵山大橋は地震動によって大きな地盤変位が確認された範囲内に存在しており、下部構造の測量結果から橋台および橋脚の水平および鉛直方向の移動が確認されている。また、下部構造の移動に伴い、支承部および上部構造にも損傷が生じていた。構造物に生じた変状の概要を図-4に示す。地盤変位に伴い、下部構造に北東方向に0.9~2.6mの変位が生じており、特に移動の大きかったA1、A2橋台では、桁端部がパラペットに衝突していた他、A1-P1間の主桁が座屈していた。

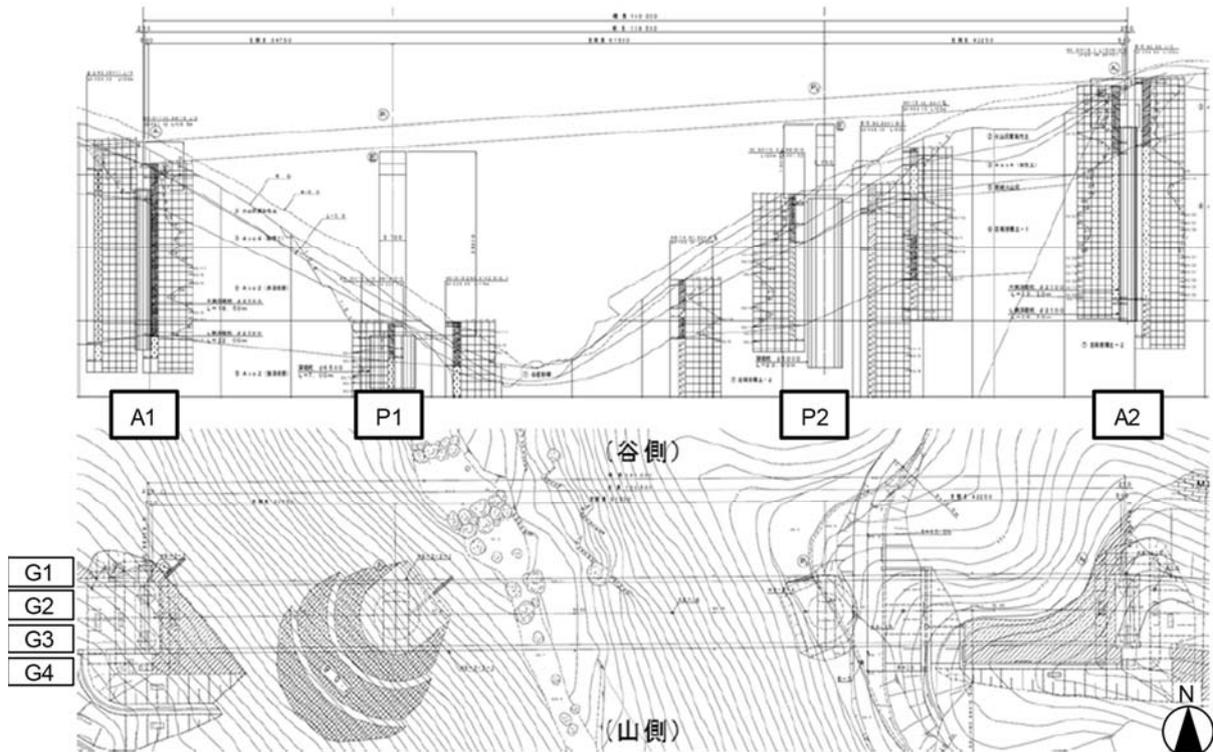


図-3 俵山大橋一般図

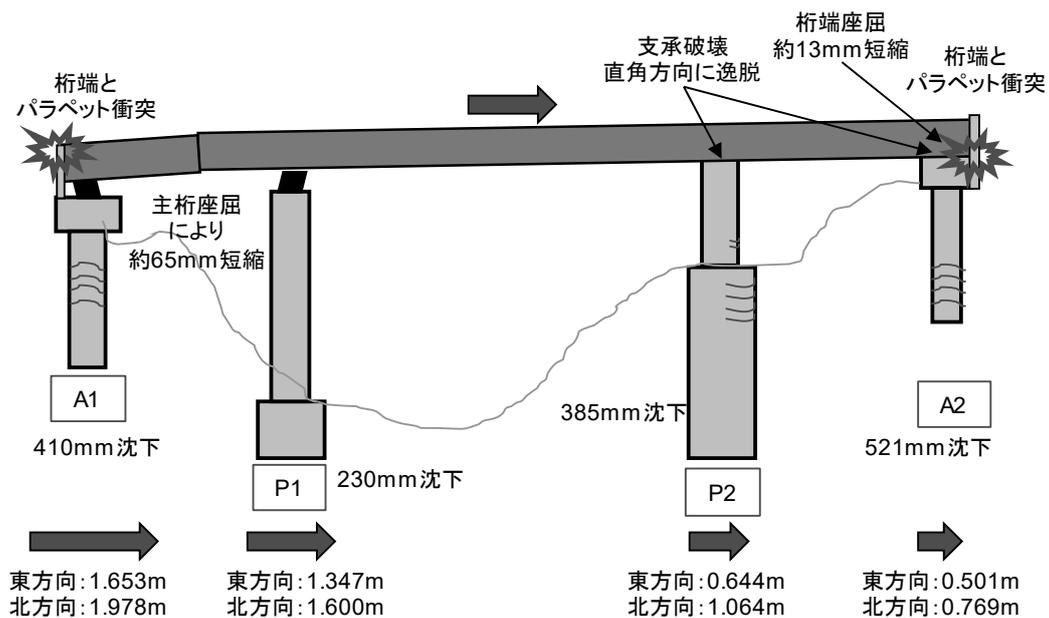


図-4 俵山大橋に生じた変状の概要

支承取り外し前の外観を図-5に示す。まず、A1橋台の支承は、下部構造がA2橋台方向に変位したことで、A1（起点）側に変形していた。次にP1橋脚の支承は、G1側およびA2橋台方向の変位が生じていた。なお、A1橋台およびP1橋脚は、ゴム本体の変形は生じていたものの、上下部構造にそれぞれ結合された状態で残存していた。

P2橋脚およびA2橋台に設置された支承は、全ての支承で、ゴム本体取付ボルトあるいは上下沓取付

ボルトの破断により分離しており、支承本体が下沓を伴いながら水平でない場所に移動し、死荷重が作用したことで、下沓が変形している支承もあった。

### (3) 回収したゴム支承の外観

回収したゴム支承の外観を図-6に示す。まず、A1橋台およびP1橋脚の支承を見ると、いずれもゴム本体、上下沓部いずれも大きな損傷は見られなかった。一方で、P2橋脚の支承を見ると、G1、G2、

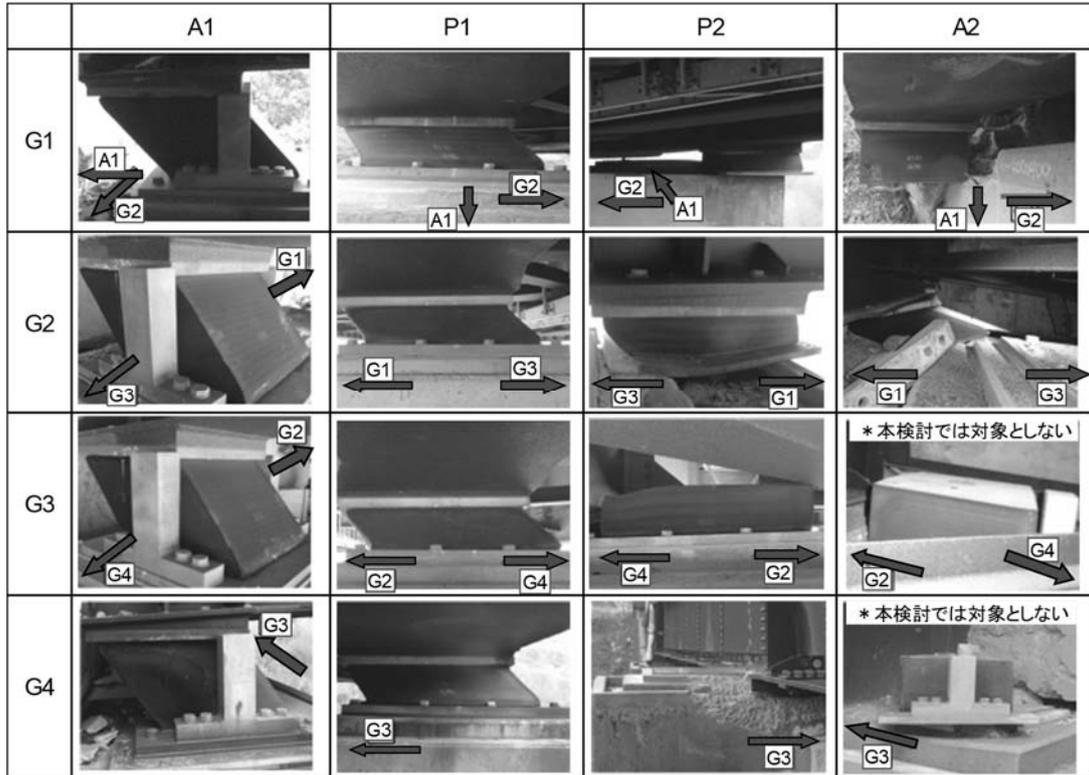


図-5 被災後のゴム支承外観

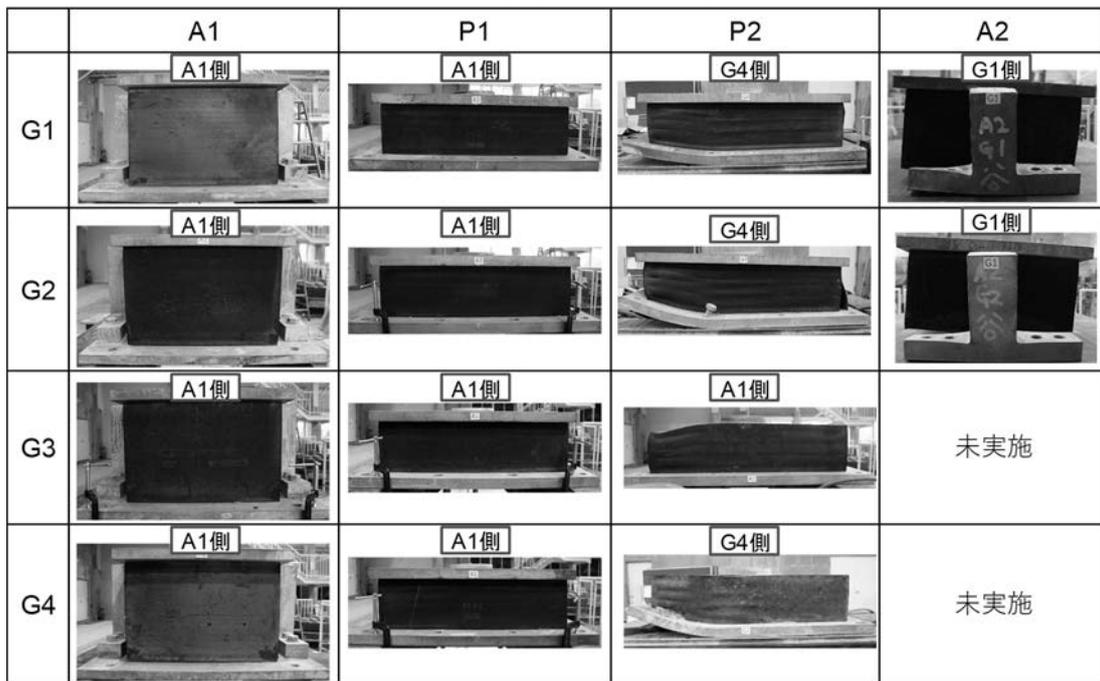


図-6 回収したゴム支承の外観

G4支承の下沓のA1側が大きく変形している。また、G3、G4支承は上側のゴム本体取付けボルトが破断し、支承本体から分離していた。次に、A2橋台ではG1、G2支承いずれも下側のゴム本体取付けボルトが破断し、下沓と分離していた他、ゴム本体に大

きな残留ひずみが生じていた。なお、G3、G4支承に関しては、本稿では対象としていない。

本検討では、ゴム支承に生じた損傷痕から破壊挙動を推定するために、ゴム本体表面などに生じた損傷痕をより詳細に調査した。図-7、8に調査した

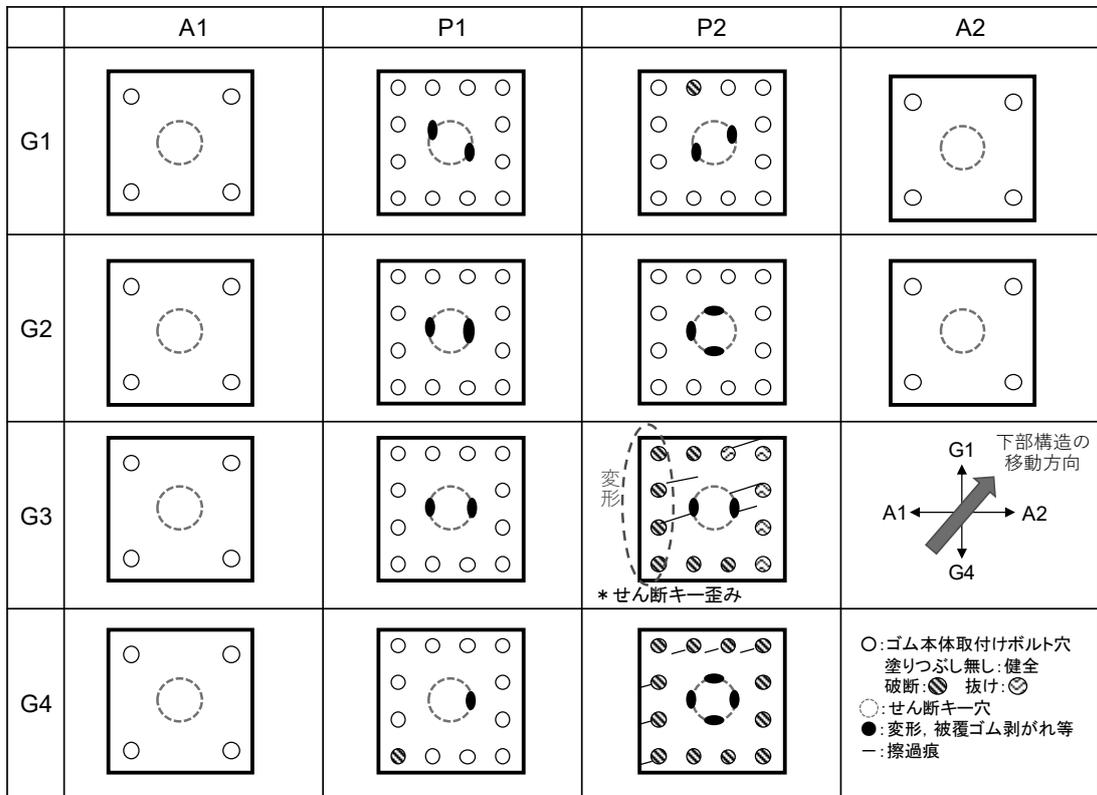


図-7 ゴム本体上面の状態

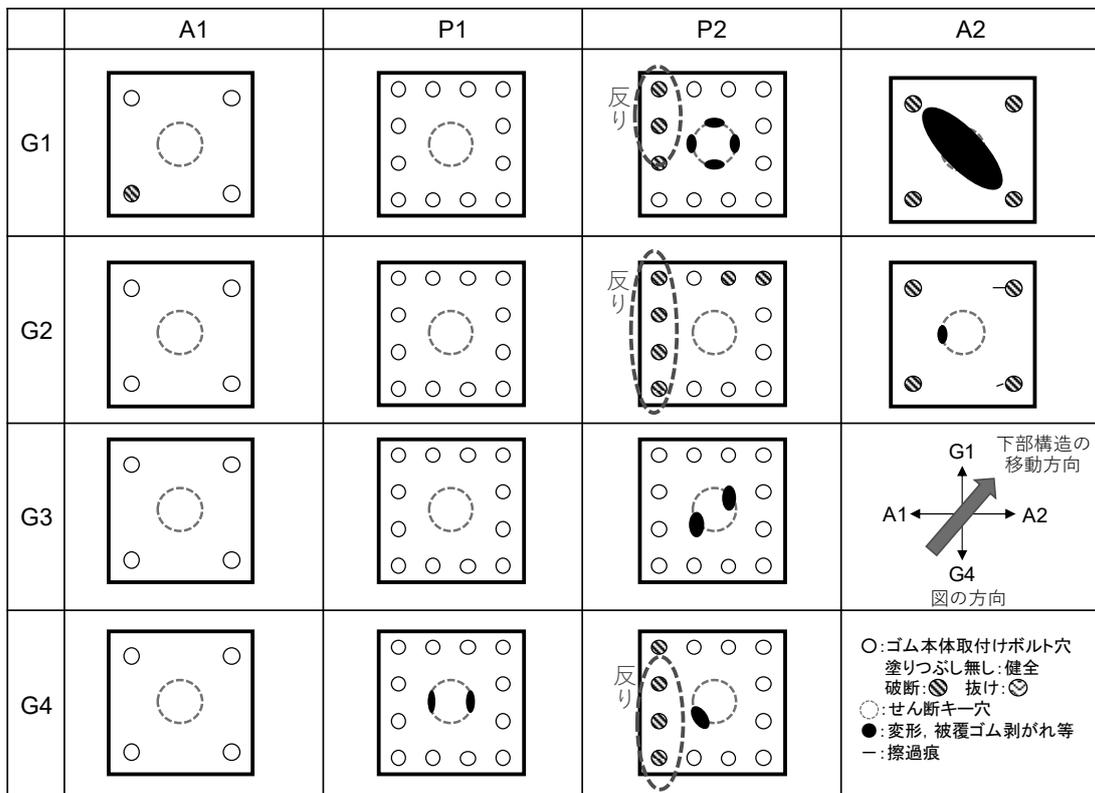
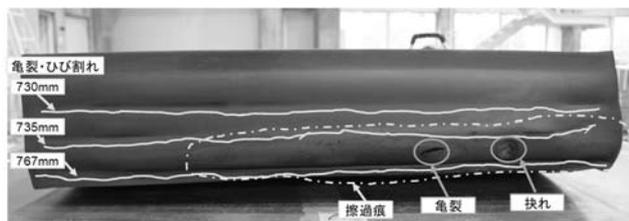


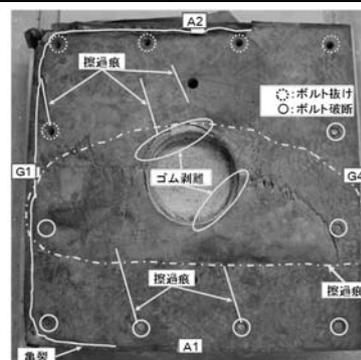
図-8 ゴム本体下面の状態

表-1 ゴム支承損傷の概要

	A1	P1	P2	A2
G1	・G1側面に亀裂(35mm) ・下側ゴム取付ボルト1/4本破断	・A1側面に亀裂(16mm) ・上面せん断キ一穴擦過痕	✓下査取付ボルト破断により分離 ・A1, A2, G4側面からゴム膨出 ・A1側底面変形 ・上下せん断キ一穴擦過痕 ・上面ゴム取付ボルト1/12本破断 ・下面ゴム取付ボルト3/12本破断	✓下面ゴム取付ボルト破断により分離 ・全ゴム側面亀裂(最大348mm) ・下面せん断キ一穴損傷 ・下面ゴム取付ボルト4/4本破断
G2	損傷なし	・A1, G1側面亀裂(最大10mm) ・上面せん断キ一穴擦過痕	✓下査取付ボルト破断により分離 ・A1, G4, G1側面に亀裂(最大767mm) ・全側面からゴム膨出 ・A1側底面変形 ・上下せん断キ一穴擦過痕 ・下面ゴム取付ボルト6/12本破断	✓下面ゴム取付ボルト破断により分離 ・A2, G1側面に亀裂(最大77mm) ・下面せん断キ一穴損傷 ・下面ゴム取付ボルト4/4本破断
G3	損傷なし	・上面せん断キ一穴擦過痕	✓上面ゴム取付ボルト破断により分離 ・全側面からゴム膨出 ・A1側上面変形 ・A2, G1側面に亀裂(最大490mm) ・上下せん断キ一穴擦過痕 ・上面ゴム取付ボルト7/12本破断 ・上面ゴム取付ボルト5/12本抜け	-
G4	損傷なし	・上下せん断キ一穴擦過痕 ・上面ゴム取付ボルト1/12破断	✓上面ゴム取付ボルト破断および下査取付ボルト破断により落下 ・全側面からゴム膨出 ・A1側底面変形 ・A1, G4, G1側面に亀裂(最大496mm) ・上面ゴム取付ボルト12/12本破断 ・下面ゴム取付ボルト4/12本破断	-



(a) P2G2 支承 (A1 側)



(b) P2G3 支承 (上面)

図-9 ゴム支承の損傷の状態の一例

上下面の状況をそれぞれ示す。また、表-1には、損傷の概要をとりまとめて示す。

a) A1橋台の支承

A1橋台の支承は、上下沓に大きな損傷もなく、ゴム表面にも大きな損傷は見られなかった。しかし、詳細に調査したところ、A1G1支承の下側ゴム取付ボルトが1本破断しており、外観上に大きな損傷がなくてもボルトの破断が生じる場合があることを確認した。この原因については、何らかの影響で荷重が集中した可能性が考えられるが、今回の検討の範囲では明らかに出来なかった。

b) P1橋脚の支承

P1橋脚の支承は、A1橋台の支承と同様に上下沓の変形やゴム表面の大きな亀裂などは確認されていない。しかし、詳細に調査したところ、P1G4支承では、A1G1支承と同様に、上側のゴム取付ボルトが1本破断していた。また、全ての支承でせん断キ一取付穴外周部の被覆ゴムが剥がれている状況が確認されており、地震動により、せん断キ一が押し当てられたと考えられる。

c) P2橋脚の支承

P2橋脚の支承はA1橋台やP1橋脚に比べて、大きな損傷が確認されており、全ての支承が、いずれかの箇所ですべての取付ボルトが破断しており、上下部構造が分離していた。まず、下査取付ボルト破

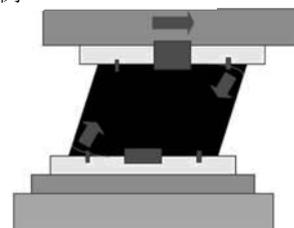


図-10 水平力によるゴム支承変形

断により橋脚と分離していたG1, G2支承については、下査プレートのA1側が変形しており、分離した際に平坦でない場所に移動し、局部的に荷重が作用したことで変形が生じた可能性がある。また、G1, G2支承のボルトの破断箇所を見ると、変形していたA1側のボルトが主に破断しており、何らかの関係があった可能性がある。加えて、例として図-9(a)に示すように、P2G2支承ではA1側を中心に大きな亀裂が生じていたほか、ゴムの膨出が確認されており、内部鋼板が変形する程の力が作用したことが推察できる。

次に、P2G3支承をみると、全ての上面ゴム本体取付ボルトが抜けあるいは破断しており(図-9(b)参照)、上部構造と分離していた。また、その後、上部構造が上載されたことによるものと思われるゴム上部の変形が確認されている。水平力分散型ゴム支承に水平力が作用すると、図-10に示すよ

表-2 ゴム支承の諸元 (設計値)

	平面寸法 (mm)	層厚	弾性係数 G(kgf/cm <sup>2</sup> )	1次形状 係数S <sub>1</sub>	2次形状 係数S <sub>2</sub>	圧縮バネ Kv(tf/cm)	せん断ばね Ks(tf/cm)		呼称	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )
A1	450×450	12mm×17層	8.0	9.4	2.2	462	0.794	鋼材	SM490A	325
P1	600×650	22mm×5層	12.0	7.1	5.5	1420	4.255	鋼棒	SD345	345
P2	750×750	36mm×3層	12.0	5.2	6.9	1134	6.25	ボルト	強度区分8.8	660
A2	450×450	13mm×11層	8.0	8.7	3.1	562	1.133		強度区分10.9	940

うに変形しながら引張力が作用することが知られており、片側のボルトにはせん断力が作用し、逆側のボルトには引張力が生じたため、せん断で破断したボルトと、引張力によってボルトが抜けたものが存在したと考えられる。また、ゴム上面に生じていた擦過痕が一方方向であったことから、ボルトが破断した直後に、桁が支承から脱落したと考えられる。

P2G4支承は上下のボルト破断により支承本体が橋脚から落下していた。上面のゴム取付けボルトと下査取付けボルトいずれが先に破断したかは明らかではないが、P2G2支承と同様に下査のA1側が変形していたこと及び、下査プレートに桁などが衝突した形跡が無いことから、まず、下査取付けボルトが破断し、平坦でない場所に移動して下査プレートが変形した後、更に水平力が作用したことで、擦過痕を残しながら上面のゴム取付けボルトが全て破断した可能性が考えられる。また、P2G3支承と擦過痕の方向が異なるのは、まず下査取付けボルトが破断し、その後、上面ゴム本体取付けボルトが破断して擦過痕が形成されたためと考えられる。

#### d) A2橋台の支承

A2G1, A2G2支承はいずれも、下側ゴム取付けボルトの破断によって下部構造と分離していた。また、A2G1支承の下側せん断キー穴の状況を見ると、横方向に大きな損傷が見られた。これは、桁がパラペットに衝突した形跡があることや、サイドブロックが破壊されていたことから、橋軸方向だけでなく、橋軸直角方向にも大きく変位したことが推察される。

## 4. 構成部材耐力からの破壊挙動推定

道路橋支承便覧には弾性支持支承の荷重伝達経路に関して次のように記述されている<sup>9)</sup>。

水平力および鉛直引張力：①上部アンカーボルト ↔ ②ソールプレート ↔ ③上査取付けボルト ↔ ④上査 ↔ ⑤支承取付けボルト ↔ ⑥積層ゴム ↔ ⑦支承取付けボルト ↔ ⑧下査 ↔ ⑨ベースプレート ↔ ⑩アンカーボルト

なお、せん断キーが配置されている支承に関しては、査取付けボルトおよび支承取付けボルトに水平力が生じる際に荷重を分担すると考えられる。これらの荷重伝達経路に従って力が伝達され、部材の耐力を上回った時に、変形や破断すると考えられる。

そこで、本検討では、支承が破壊に至った経緯を推定するために、設計図書を参考に、俵山大橋に使用されていたゴム支承の各部材が、せん断力、鉛直力、合成力いずれかで破壊する最小の水平力および鉛直力を算出した。ゴム支承の諸元を表-2に、算

出方法を次に示す。

### (1) ゴム支承本体

ゴム支承本体の破断ひずみは、道路橋支承便覧を参考に、せん断ひずみ250%がゴム支承本体に生じる時の水平力を水平耐力とした。

### (2) 鋼材部

鋼材部の耐力は、「ゴム支承の鋼材部の設計標準(案)」<sup>9)</sup>を参考に、橋軸直角方向及び鉛直方向毎に算出した。算出式を次に示す。

#### a) せん断キー

せん断キーの降伏支圧耐力は式(1)で求めた。

$$H_b = \gamma \times \sigma_{ab} \times D \times (H_s - \Delta) \times m \quad (1)$$

ここに、 $\gamma$ ：割増係数(1.7)

$\sigma_{ba}$ ：許容支圧応力度(N/mm<sup>2</sup>)

D：せん断キーの直径(mm)

Hs：せん断キーの有効高さ(mm)

$\Delta$ ：せん断キーの面取り高さ(mm)

m：せん断キーの個数

せん断キーの降伏せん断力は式(2)で求めた。

$$H = \gamma \times \tau_a \times A_s \times m \quad (2)$$

ここに、 $\tau_a$ ：許容せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>s</sub>：せん断キーの断面積(mm<sup>2</sup>)

#### b) ゴム取付けボルト

ゴム本体取付けボルトの降伏せん断耐力は式(3)で求めた。

$$H = \tau_y \times A_s \times m \quad (3)$$

ここに、 $\tau_y$ ：ボルトの降伏せん断強度(N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>s</sub>：ボルト1本当たりの谷径断面積(mm<sup>2</sup>)

m：ボルトの総本数

ゴム本体取付けボルトの降伏鉛直応力度は式(4)で求めた。

$$H_t = \sigma_y \times A_s \times m \quad (4)$$

ここに、 $\sigma_y$ ：ボルトの降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

合成耐力は式(5)に示す合成応力度の照査を満たす最大の地震時水平力とし、LG, TR方向それぞれ求めた。

$$U = \left( \frac{\sigma_t}{\sigma_y} \right)^2 + \left( \frac{\tau}{\tau_y} \right)^2 \leq 1.2 \quad (5)$$

ここに、 $\sigma_t$ ：地震時に生じる引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$ ：地震時に生じるせん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

表-3 各橋台・橋脚に設置されている支承の破壊時荷重 (単位:kN)

	部材名	A1	P1	P2	A2
水平力 (LG方向・ TR方向)	上側せん断キー(支圧耐力)	312	1014	1014	312
	上側せん断キー(せん断耐力)	1335	5341	5341	1335
	ゴム本体(250%ひずみ時)	405	1170	1688	405
	下側せん断キー(支圧耐力)	336	1092	1092	336
	下側せん断キー(せん断耐力)	1402	5608	5608	1402
水平力 (LG方向)	上沓取付けボルト	405	1170	1688	405
	ゴム本体取付けボルト	275	979	979	315
	下沓取付けボルト	470	1547	1547	516
	アンカーボルト(付着部で破壊)	167	1430	1716	275
	アンカーボルト(ボルト部で破壊)	358	1670	1716	560
水平力 (TR方向)	上沓取付けボルト	370	1160	1440	412
	ゴム本体取付けボルト	260	970	979	295
	下沓取付けボルト	516	1450	1480	485
	アンカーボルト(付着部で破壊)	144	1140	1300	230
	アンカーボルト(ボルト部で破壊)	342	1560	1610	545
鉛直力	上沓取付けボルト	893	2029	2520	893
	下沓取付けボルト	893	2679	2679	893
	ゴム体取付けボルト	565	1696	1696	565
	ゴム本体に2MPaの引張力が生じるとき	405	780	1125	405
	下部アンカーボルト(付着無視)	745	3166	3166	1087
	下部アンカーボルト(付着有り)	155	1080	1080	220

合成応力度における $\sigma_t$ は地震時の曲げにより生じる引張応力度であり、式(6)で求めた。

$$\sigma_t = \sigma_{bmax} \times n \times \frac{d-x}{x} \quad (6)$$

ここに、 $\sigma_{bmax}$ ：接触面の最大支圧応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$n$ ：上下鋼板との接触面の弾性係数比

$d$ ：ゴム支承本体の上下鋼板縁端から最外列のボルト中心までの距離(mm)

$x$ ：中立軸位置(mm)

合成応力度におけるせん断応力度 $\tau$ は式(7)で求めた。

$$\tau = \frac{R_{Heq}}{A_s \times m} \quad (7)$$

ここに、 $R_{Heq}$ ：地震時水平力(kN)

算出結果を表-3に示す。まず、水平力に対する計算結果を見ると、橋軸(LG)方向および橋軸直角(TR)方向いずれの場合も同様な傾向を示しており、上下のゴム本体取付けボルトが最小となっていた。次に、せん断キーの支圧耐力、上沓の取付けボルトが小さい。また、鉛直力に対しても、ゴム取付けボルトが最も小さく、次いで上沓あるいは下沓取付けボルトが低い結果となった。以上より、支承の破壊はゴム取付けボルトが最初に降伏するように想定されていると考えられる。

ここで実際の支承の破壊状況を見てみると、A1橋台およびP1橋脚の支承は、支承を橋梁から取り外す前には損傷が見られなかったが、取り外して詳細に調査したところゴム取付けボルトが破断しているものもあり、計算結果と一致していた。次に、支承に大きな損傷が生じていたP2橋脚およびA2橋台の支承は、ゴム取付けボルトの破断も確認されたが、沓取付けボルトが破断している支承が存在した。ゴム取付けボルトが破断した後に沓取付けボルトが破断するとは考えにくく、地震時にまず、沓取付けボルトが破断し、下部工あるいは上部工から分

離した後に、更に荷重が作用したことでゴム取付けボルトが破断したと考えられる。P2G3、P2G4支承の下沓の変形は、下沓取付けボルトが判断し、支承が下部工と分離した後に、下沓の一部が平滑でない箇所に移動し、上部工の荷重が作用したことで、部分的に変形が生じたと考えられる。また、P2G2支承のゴム上部の変形は、支承が分離した後、桁あるいは横構が載荷されたため、変形したと考えられる。しかし、先述したように、下沓取付けボルトよりもゴム取付けボルトの方が破壊時水平力は低く、部材単体の耐荷力での評価は適切ではない可能性がある。

そこで、各断面に生じる力を各部材が分担した場合の破壊時水平力について考えた。算出に際しては、図-11に示すように断面を設定し、表-4に示す部材がその断面に生じる力を分担し合うと仮定した。上沓取付けボルトおよび上下のゴム取付けボルトはせん断キーと荷重を分担しあっている一方、④および⑤断面に位置する下沓取付けボルトはゴム本体の外側に位置することから、ボルトのみで水平力を受け持つことになる。荷重の分担割合は、各断面毎に部材の面積比を求め、その割合に応じて水平力を受け持つものとした。

一例として、LG方向の算出結果を図-12に示す。図中の「断面の最小耐力」とは各断面毎に最小となる部材の破壊時水平力を意味し、「断面耐力の総和」とは、荷重の分担があった際に、いずれかの部材が破壊に至る水平力を意味している。また、ゴム本体が破壊する水平力は、せん断ひずみ250%に相当するものと、別途の検討で<sup>7)</sup>、A2G4支承を用いて水平載荷試験を行った結果、水平ひずみ350%でもゴム本体は破断しなかったことから350%ひずみ相当の水平力も併せて示す。アンカーボルトについては、付着モルタル部が水平力によって生じる曲げモーメントにより引き抜かれる水平力と、ボルト部が引張破壊する際の水平力を示す。

結果を見ると、せん断キーを含む断面は「断面耐

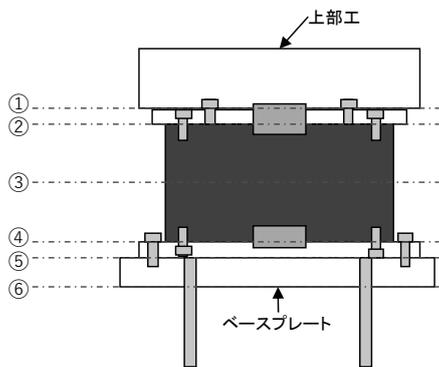


図-11 支承の荷重分担概要図

表-3 各断面の影響部材

断面	影響部材
①	上沓取付けボルト+せん断キー
②	ゴム取付けボルト+せん断キー
③	ゴム本体
④	ゴム取付けボルト+せん断キー
⑤	下沓取付けボルト
⑥	アンカーボルト

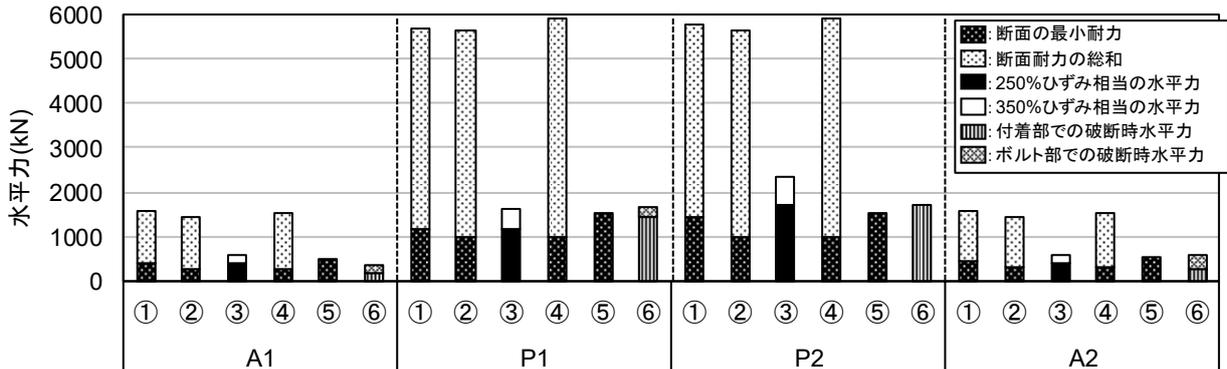


図-12 荷重の分担を考慮した各断面の破壊荷重(LG方向)

力の総和」が2倍以上大きくなる結果となった。これは、せん断キーはボルトに比べて断面積が大きいので、断面のせん断耐力が大きくなるためと考えられる。全ての支承が破壊していたP2橋脚に着目すると、⑤断面に位置する下沓取付けボルトが、④断面のゴム取付けボルト+せん断キーよりも、破壊時水平力が小さくなっており、先に破壊する可能性があることが示唆された。一方、アンカーボルトも下沓取付けボルトと同程度の値となっているが、今回調査した範囲では、いずれの支承部においても明確な損傷は確認されていない。これは、アンカーボルトに水平力が生じる場合、水平力がダウエル効果によりコンクリートの支圧抵抗力や曲げ抵抗力等へ分離され<sup>8)</sup>、実際に作用するせん断力が低下したため、アンカーボルトのせん断破壊は生じなかったと考えられる。

## 5. おわりに

被災したゴム支承の破壊形態を詳細に調査することより次のことを確認した。

- 1) 外観上に大きな損傷がない場合でも、ボルトが破断している場合もある。
- 2) ゴム本体に生じた損傷痕から地震時挙動を把握できる場合がある。
- 3) 部材単体の耐力照査だけでなく、力を受け持つ断面も考慮して、部材の耐力を評価する必要性が示唆された。

謝辞：本稿の作成に際しては、九州地方整備局熊本河川国道事務所、熊本復興事務所および熊本地震道

路復旧検討PTの皆様にご協力をいただくと共に、ゴム支承14基、調査、測量結果をご提供いただいた。また、熊本県からは橋梁に関する資料をいただいた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所，土木研究所：平成28年（2016年）熊本地震土木施設被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料第967号，土木研究所資料第4359号，2017。
- 2) 大住道生，星隈順一：熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく原因分析，第20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講演論文集，pp.121-128，2017。
- 3) 国土地理院：航空写真判読による布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#dd>
- 4) 岩田知孝：益城町宮園・西原村小森本震記録の解析，<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/masiki-nishihara0428ver2.pdf>
- 5) 公益社団法人日本道路協会：平成30年制定道路橋支承便覧，pp.127-129，2018。
- 6) （社）日本支承協会・ゴム支承協会：ゴム支承の鋼材部の設計標準（案），2005。
- 7) 二宮智大，余野智哉，中尾尚史，大住道生：地震の被害を受けた支承の損傷原因に関する実験的検討，第22回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集，2019。
- 8) 高瀬裕也，和田俊良，池田隆明，篠原保二：接着系あと施工アンカーのダウエルモデル，土木学会第67回年次学術講演会，pp.487-488，V-244，2012。