

3. 調査結果のまとめ

3-1 ゴム支承全般

橋台の前方移動によってゴム支承に過大な残留ひずみが生じ、なごみ橋の一部の支承にオゾンクラックが見られた。他の5橋はゴム支承の外観異状は見られなかった。調査した6橋の中で最も古い開運橋のサイドブロックに曲がりとサイドブロックボルトのせん断破壊が見られたが、サイドブロックが組込まれている「なごみ橋」「上原一の橋」「上原二の橋」「中割橋」ではサイドブロック及びサイドブロックボルトの曲げ、破断は無かった。これは、設計時点の部材設計に関する照査法の違いによるものと思われる。

地震発生からゴム支承に残留ひずみが残ったまま長期間の放置は、現在問題がない支承にオゾン等によるクラックが発生する懸念がある。また、地震を受けた後に100%~200%程度の残留ひずみが長期間与えられたまま放置することで破断に至る可能性も否定できないので、そのための安全対策を施すのが良いと思われる。

3-2 ゴム支承表面

なごみ橋のA2-G1の表面被覆ゴムに「JIS K 6259 付属書1 図1 き裂の状態」に示されるB-3に相当するき裂が見られた。また、A2橋台の残りの4組の中にゴム表面にA-2又はB-2に至る可能性のあるき裂の予備群が見られた。

オゾンクラックは、ゴムに与える伸びが大きいほどき裂の発生が早く、低温の場合には更にクラックの発生は早くなることが知られている^[1]。従って、A2橋台に設置した残りのG2~G5についても早い時期にオゾンクラックが発生する可能性があるため、早急にゴムの立直しと、き裂の補修を行う必要がある。

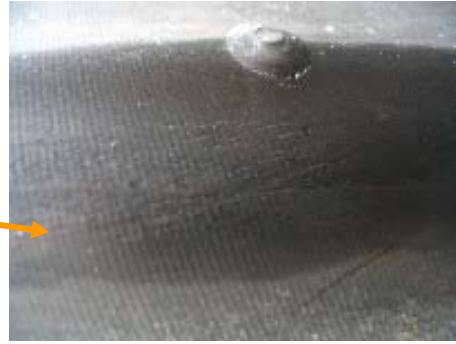
なごみ橋A2橋台のゴム支承は約170%の残留ひずみがあった。地震発生から1.5ヶ月の期間にゴムの表面が大きな伸びを受けていたため、オゾンによるき裂が発生した可能性があると思われる。

参考文献

【1】天然ゴムの低温耐候性に関する研究:土木学会論文集 No.693/V -53,73-86,2001



A2-G1 D面側



D面に認められた異常個所の接写-1



D面に認められた異常個所の接写-2



D面に認められた異常個所の接写-3

写真 3.1 なごみ橋 A2-G1 支承側面の状態

ゴム支承のオゾンクラックの判定基準(案)

ゴム表面の目視から，ゴム支承の表面被覆ゴムの補修の可否を判定するための基準として，加硫ゴムのオゾン劣化試験方法 JIS K 6259 付属書 1 き裂の評価方法より付属書 1 図 1 き裂の状態を適用する。

JIS K 6259 付属書 1 表 1 き裂の状態

き裂の数及びランク付け	き裂の大きさ，深さ及びランク付け
A:き裂少数	1.肉眼では見えないが10倍の拡大鏡では確認できるもの。
B:き裂多数	2.肉眼で確認できるもの。
C:き裂無数	3.き裂が深くて比較的大きいもの(1mm未満)。
	4.き裂が深くて大きいもの(1mm以上3mm未満)
	5.3mm以上のき裂又は切断を起しそうなもの。

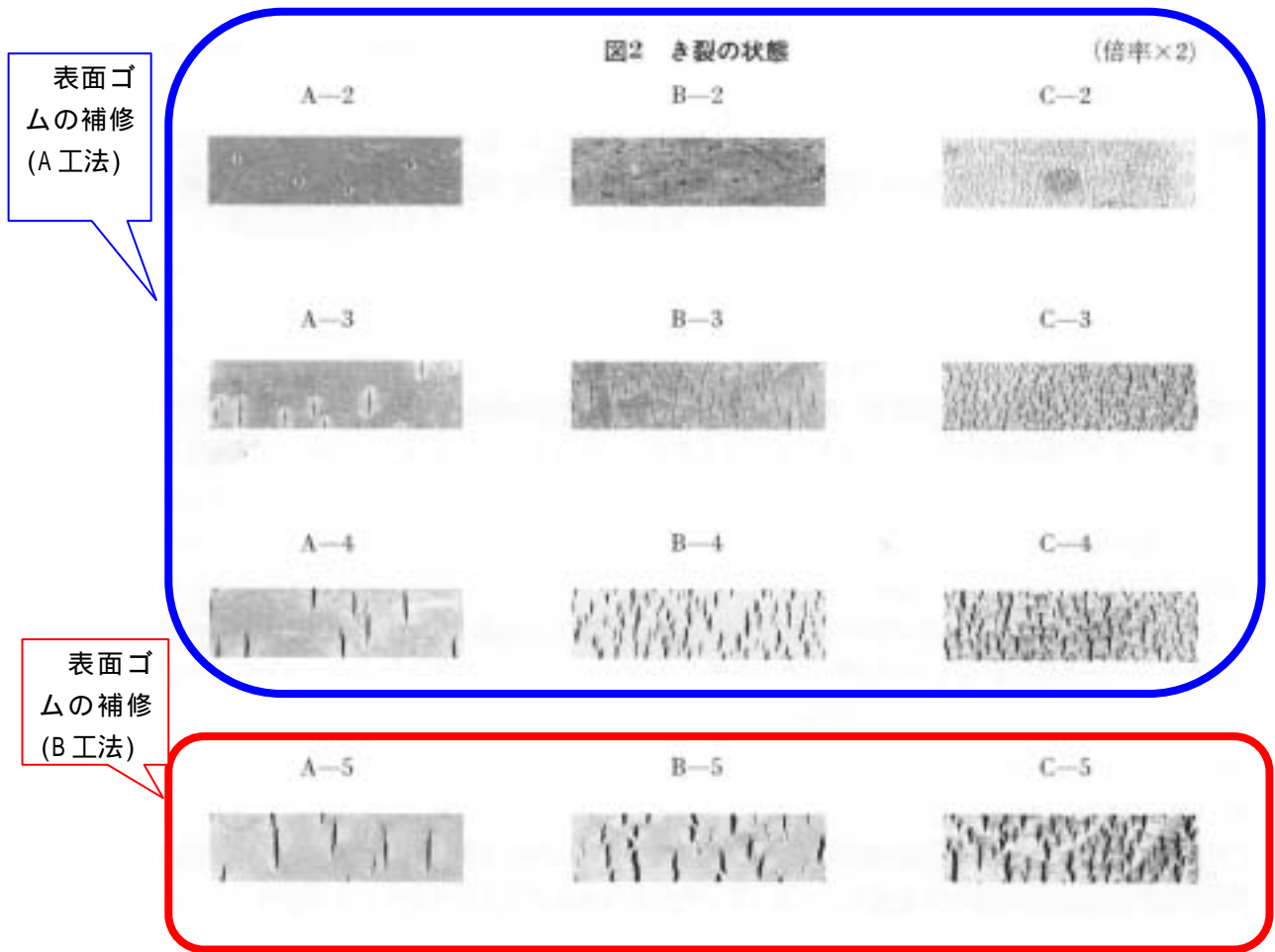
目視による補修及び交換の可否の判定は，現状のままで良い 支承表面被覆の補修(A工法) 支承表面被覆の補修(B工法) 支承交換とした。

A-1 B-1 C-1 と判断された場合

A-2~A4 B2~B4 C2~C4 と判断された場合

A-5 B-5 C-5 と判断された場合

A-5,B-5,C-5 を超え，表面のき裂が繋がり，補強鋼板が露出し発錆びにより補強鋼板がぼろぼろの場合やゴムと鋼板が分離している場合(道路橋支承便覧参考資料-16 参照)



JIS K 6259 付属書 1 図 1 き裂の状態(倍率 x 2)

なごみ橋 A2-G1 支承の D 面の外観は、JIS K 6259 の B-3 と判定した。また A2 のその他の幾つかの表面は A-2 又は B-2 に近い状態と判定した。なごみ橋 A2 支承は早急に補修を行うことを推奨する。

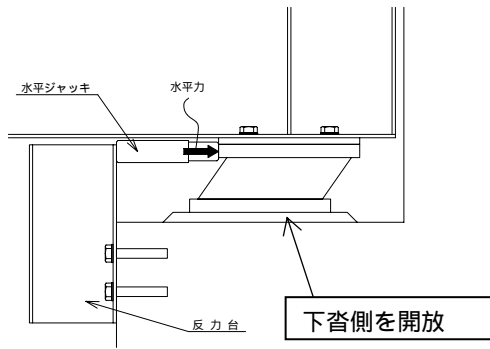
3-3 残留ひずみの建直しにおける留意点

調査した 6 橋全て、橋台部の支承に残留変形が残っており、残留変形を立直す場合に、水平力が急速に抜け、桁が移動することを避けるための対策が必要となる。特に、反力分散支承を用いている開運橋、なごみ橋、豊田橋に関しては、ゴム支承の残留変形による水平力のバランスが崩れており(豊田橋の試算では約 50mm 一方に押している)、一部の支承を立直した場合に他のゴム支承の変形が増加することでせん断変形が大きくなり更に破断などの危険性が増すことが考えられる。従って、支承個別に移動を拘束しながら慎重な作業計画を立てる必要がある。作業上の留意点として以下のことが考えられる。

ゴムの残留変形を拘束し、桁が不用意に水平移動しないように必要な架設受け台を設け推移ジャッキを設置する。

支承底部のコンクリートのハツリの際に鉛直力を支持するためのジャッキ等を設置する。

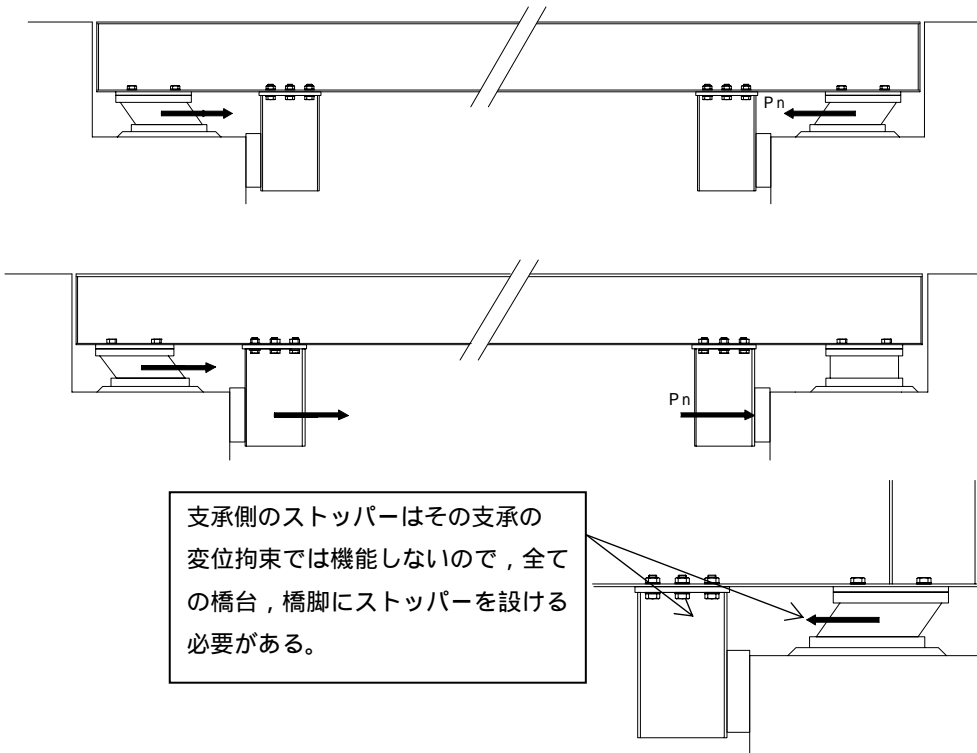
過大変形しているゴム支承が破断した場合の防護対策を行う。



支承個別毎に残留変形を拘束する例

- 1) 残留ひずみをジャッキで桁の移動を拘束する。
- 2) ジャッキ受けの反力台は橋台側に設置し，移動を拘束する。
- 3) 上原一の橋，上原二の橋，中割橋など固定橋脚がある場合には，残留変形のアンバランスによる，桁の移動を考慮する必要がないので，ゴム支承個々の開放作業が可能となる。

桁全体の移動を拘束する例(開運橋補修案より)



- 1) 橋全体で桁の移動を拘束する。
- 2) 水平力のアンバランスは，支承の反対向きに設置した鋼製ストッパーで受ける。
- 3) 支承立直しに伴う移動は一方のストッパー部で受けるため，橋全体で水平力に耐えるように照査する。

3-4 建直し後のゴム支承の耐久性

地震発生からゴム支承の立直しまでの期間は数ヶ月から1年を超えることが予想される。しかし，大きな地震動を受けた後に常時の許容せん断ひずみ(70%)を大きく越える150%~200%程度のせん断ひずみが長期間加わった場合のせん断破壊(せん断変形性能)や長期安全性(せん断剛性や耐久性)に関するデータはない。

反力分散支承における地震時の許容せん断ひずみはレベル1地震動に対して150%以内，レベル2地震動に対して250%以内である。調査橋梁の残留ひずみがレベル1地震動やレベル2地震動に対する許容ひずみの間であることを考えると当初検討した耐震性能は発揮できたと考えられる。

調査した6橋は建設後比較的新しく，橋としての寿命まではかなりの期間があるため，ゴム支承に長期耐久性，耐候性の問題が無ければ残留変形を戻し，橋の供用期間まで使用したいとの要求がある。しかし，設計で予想した地震動を受けた後，長期間大きな残留ひずみを残したゴム支承の長期耐久性，耐久性に関しては判断できるデータを持っていない。従って，ゴムにき裂が見られる「なごみ橋」或いは，残留ひずみの多いゴム支承を抜取り，各種性能の確認を行い判断することを推奨する。なお，試験については道路橋支承便覧より必要と思われる項目を表3-1に示す。

表 3-1 抜取りした支承の性能試験案

項目		内容	検査区分	試験	試験部位	
材料	ゴム材料の物理的性質	基本特性	シート加硫したダンベル試験片にて行うゴム材料の伸び、引張強さの基本特性試験。	b		切り出し
		老化・耐久性	シート加硫した試験片にて行うゴム材料の老化、耐久性試験で伸び、引張強さ、圧縮永久ひずみ、オゾン劣化、耐水性試験、耐寒性試験。	b 注1)		切り出し
	接着強さ(90度剥離試験)	試験片にて行うゴムと鋼板の接着強さ試験。	b		切り出し	
	低温状態のオゾン劣化試験	低温状態(-30)にて行うオゾン劣化試験。	b 注1)		切り出し	
	ゴム材料の化学成分	ポリマー定性、全ポリマー、補強材、灰分の定量の測定試験。	b 注1)		切り出し	
	鋼材および鉛, PTFE	ミルシートにより寸法、機械的性質、化学成分等を確認。	b			
寸法	内部鋼板	平面寸法、孔径、穴位置等をゲージなどの測定機器にて測定。	b			
	ゴム支承本体	平面寸法、厚さを測定機器にて測定。	b		抜取り製品	
	組立完成品	組立高さ、鋼製部品の主要部位を測定機器にて測定。	a			
	その他の寸法	鋼製部品等の付属部位を測定機器にて測定。	b 注2)			
防せい 防食	めっき付着量(膜厚)	鋼製部品の主要部位を膜厚計にて測定。	a 注3)			
	塗装塗膜厚	鋼製部品の主要部位を膜厚計にて測定。	a 注3)			
性能	圧縮ばね定数	圧縮ばね定数を考慮して設計した橋梁で圧縮応力度1.5~6.0N/mm ² の荷重範囲で試験機にて測定。	a 注2)		抜取り製品	
	圧縮変位量	所定の鉛直荷重を載荷し圧縮変位量を試験機にて測定。	a		抜取り製品	
	せん断剛性(等価剛性)	死荷重を載荷し有効設計変位または総ゴム厚の175%のせん断ひずみを与えた時のせん断剛性を二軸試験機にて測定。	a		抜取り製品	
	等価減衰定数	死荷重を載荷し有効設計変位またはゴム総厚の175%のせん断ひずみを与えた時の等価減衰定数を二軸試験機にて測定。	a			
	せん断変形性能	供試体に死荷重相当を載荷し片押しにてせん断ひずみが総ゴム厚の250%以上を確認。	b 注4)		抜取り製品	
	疲労耐久性能	供試体に一定せん断変形を与え鉛直荷重を200万回繰り返し載荷し外観に異状がないことを確認。	b 注4)			
外観等	完成品の外観	有害な瑕疵のないことを目視にて確認。	a			
	内部鋼板位置	鉛直力載荷試験時にゴムと鋼板の接着力、鋼板の位置ずれをゴム支承本体側面の膨らみを目視にて確認。	a			

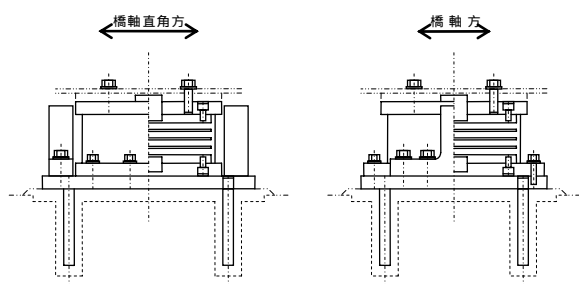
道路橋支承便覧 p219 表-4.2.15 より、製品の性能 4 項目()、寸法()、材料特性 4 項目()を試験する。その結果と初期値と比べることで判断する。

4. 考察

調査した 6 橋全て橋台の背面の地盤や護岸の沈下と思われる橋台の前方移動によって、桁とパラペットが追突した状態で保持している橋が多くゴム支承は大きくせん断変形しており、せん断ひずみは 100% 以上、大きなものでは 200% を越えるものがあった。しかし、本地震によるゴム支承の損傷や破断がないため桁と橋台に段差がないこと及び落橋に至るような被害がなかった。ただし、本地震動に対する十分な遊間が確保されていないため、水平力の分散は桁とパラペットが追突する移動量まで機能したものと考えられる。

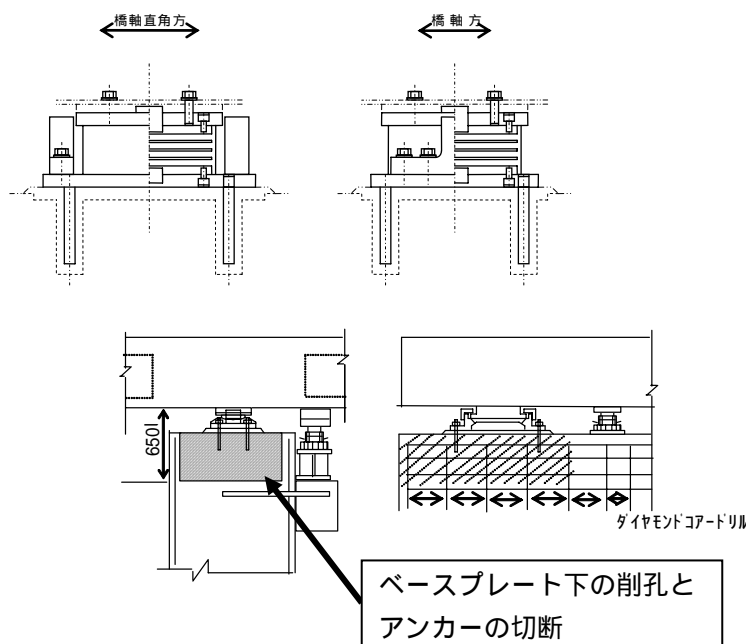
しかし、ゴム支承の破断や損傷がなくとも、下部の移動によって、ゴム支承の改修が必要となる場合があることが今回の地震で分かった。従って、上部構造や下部構造の大きな削孔を伴わず、変位調整や立直し及び交換が可能な支承構造(ベースプレートと下沓がある構造)の方が、下部の削孔、アンカーの切断、追加設置などの作業が伴わず、経済性に優れると思われる。

下沓のある支承構造(開運橋・なごみ橋・豊田橋・中割橋)



- ・下沓があり，ベースプレートとボルトで固定する形式である。この場合ボルトを緩めることで，分離できるため交換や変位調整が容易である。
- ・残留変形を立直した場合には，ベースプレートを必要長さ分製作し，既存のプレートと溶接により一体化できるため，下部工側の削孔が少ない。

下沓のない支承構造(上原一の橋・上原二の橋)



- ・ゴム支承本体に直接ベースプレートが固定する形式である。このため，ゴム支承とベースプレートが分離できないため，交換の際に下部構造の大掛かりな削孔とアンカーボルトの切断が伴う。
- ・残留変形を立直した場合には，ベースプレートを必要長さ分製作し，既存のプレートを必要長さ分製作し，既存のプレートと溶接により一体化する。更に切断したアンカーに代わる新しいボルトを設置する必要がある。

上記支承構造の違いは下沓があるかないかであり、それによって取替工事における作業性、費用に大きな差がある。

これまで、震災による支承交換は鋼製支承をゴムの固定可動支承や分散支承，免震支承に交換することが多く、昨今、要求される経済性(初期投資)を優先するために、今回のようなゴム支承の立直しや取替を考慮せず、鋼材部などの部品数や板厚さを極力少なくした支承構造が増えてきた。

しかし、今回の震災のようにゴム支承本体の損傷がない場合であっても不測の事態により支承の立直しや取替を行う必要があることが分かり、それを考慮した支承構造を用いるべきではないかと思うに至った。

5. 調査参加者

ゴム支承協会技術委員会 平成 19 年新潟県中越沖地震柏崎市鯖石川ゴム支承調査特別チーム

田中弘紀(オイレス工業)	池田貴和子(オイレス工業)	池本弘司(東海ゴム工業)
原 暢彦(東京ファブリック工業)	今井 隆(ビービーエム)	荒木勝美(ビービーエム)
山家弘行(ブリヂストン)	秦野 均(横浜ゴム)	鈴木 紅(横浜ゴム)

ゴム支承協会

ゴム支承協会技術委員長 今井 隆

東京都港区元赤坂 1 丁目 5 番 2 6 号 東部ビル

TEL:03-5411-2490 FAX:03-5411-2491

URL: <http://www.j-rba.com/index.htm>