

# ゴム支承における高耐久化・長寿命化への取組み

今井 隆\*

今日、わが国における道路橋のストックは膨大であり、今後、架替えや補修・補強を必要とする橋が増大することが予想されている。支承部についても点検や補修および交換を要する場合が考えられる。

兵庫県南部地震以降、ゴム支承が急速に普及したため、ゴム材料のほか、支承の構造やメンテナンス性、さらには、支承の点検や補修についてあまり配慮されていなかったことや、ゴム支承の専門家を十分養成できていないことが、点検や補修等に伴う問題の解決に時間を要していると考えられる。

そこで、ゴム支承協会として支承部における高耐久化・長寿命化につながる研究の一環と実施している研究成果を報告する。これら、研究成果をもとに高耐久化・長寿命化につながるような提案をゴム支承協会技術委員会として発信していきたいと考えている。

キーワード：ゴム支承，高耐久化，長寿命化，実験，補修工法

## 1. はじめに

今日、わが国における道路橋のストックは膨大であり、橋長 15m 以上の橋梁は 14 万橋程度、その内 PC 橋は 5 万橋強といわれている。橋の寿命は設置される環境や使用条件、供用後の維持管理の程度によって異なるが、今後、架替えや補修・補強を必要とする橋が増大することが予想されており、支承部についても点検や補修および交換を要する場合が考えられる。

そこで、現在ゴム支承協会において支承部における高耐久化・長寿命化につながる研究の一環として以下の取組みを実施しているので報告する。

- ① 寒冷地におけるゴム支承の各種性能の評価研究<sup>1~4</sup>
- ② 低温下におけるオゾン劣化と劣化後の限界性能を把握するための研究および修復方法についての研究
- ③ 支承部の点検・調査・支承の使用の可否判定方法の提案・支承を交換するための実験および研究

## 2. ゴム支承の支承設計法等の変遷

ゴム支承は、1950 年代に PC 工法とともにフランスより輸入され、国内独自の規格によるゴム支承は 1958 年に大阪環状線天王寺駅舎で使用された。当時のゴム支承は、ゴム材料にクロロプレンゴム（合成ゴム）を用い、上沓や下沓

をもたないパッド型ゴム支承構造であり、施工の簡便さから主にコンクリート橋の固定可動形式に多く使用された。このころは許容圧縮応力度  $5 \text{ N/mm}^2$  ( $50 \text{ kgf/cm}^2$ )、せん断ひずみ 50% で設計されていた。その後、1974 (昭和 49) 年に地震時水平力分散ゴム支承（天然ゴム、許容圧縮応力度  $7 \text{ N/mm}^2$ 、せん断ひずみ 70%、地震時のひずみ 150%）が実用化されたが、その当時は、固定可動形式の鋼製支承が主流であり、地震時水平力分散型ゴム支承の適用は少なかった。免震支承は、1991 (平成 3) 年に試験採用された。

1995 (平成 7) 年兵庫県南部地震では、各種構造物に甚大な被害を引き起こした。橋梁においても、橋脚の倒壊、橋桁の落下を始め、多数の橋梁で大きな被害が発生した。その被害状況を見ると、支承部が損傷して上部下部構造に大きな損傷が生じたケースが少なくない。支承部の損傷について特徴的な事柄として、ゴム支承の損傷が軽微であった。そのことから、翌年の 1996 (平成 8) 年に改訂された道路橋示方書では免震橋、地震時水平力分散構造を有する橋の動的解析照査や支承部を構造部材とするなどの改訂に伴い、地震時水平力分散型ゴム支承や免震支承が適用しやすい環境となり、改めてゴム支承の変遷を考えた場合、大きな転換期となった。

そして、この震災以後、支承に対する要求性能、とくに耐震性能に関して重要視されるようになった。

ゴム支承における高耐久化としては道路橋示方書の改定ごとに高耐力化（許容値の引上げ）、耐久性の強化（試験要領の改正や追加、破断性能の追加など）を行ってきた。その変遷を表 - 1 に示す。しかし、兵庫県南部地震の結果、急激にゴム支承に転換したため、ゴム支承本体製造会社とゴム支承組立会社が要求に応じて、複雑な支承構造、施工性や補修性をあまり考慮していない構造や橋の特性（PC 桁の場合に乾燥・クリープ・弾性収縮の影響を支承または橋に考慮するなど）を考慮していない構造などの混乱が転換直後にあった。ゴム支承協会技術委員会としては、複雑な



\* Takashi IMAI  
ゴム支承協会 技術委員長

表 - 1 ゴム支承の設計基準（道路橋支承便覧）

発刊年月	主な許容値	使用材料	
		ゴム	補強鋼板
1973年 (昭和48年4月)	最大支圧応力度 <math>5 \text{ N/mm}^2</math> 常時のせん断ひずみ <math>< 0.5 \Sigma te</math> 地震時のせん断ひずみ <math>< 1.75 \Sigma te</math>	クロロプレンゴム (CR)	耐候性鋼板, ネオプラス, ナイロン, 亜鉛メッキ鋼板 (ゴムと鋼板は未接着)
1991年 (平成3年7月)	最大支圧応力度 <math>8 \text{ N/mm}^2</math> 常時のせん断ひずみ <math>< 0.7 \Sigma te</math> 地震時のせん断ひずみ <math>< 1.5 \Sigma te</math> 局部せん断ひずみの照査	クロロプレンゴム (CR) 天然ゴム (NR)	SS400, SUS304, SUS316, SM490, SGD400-D
2004年 (平成16年4月)	最大支圧応力度 <math>8 \sim 12 \text{ N/mm}^2</math> 常時のせん断ひずみ <math>< 0.5 \Sigma te</math> 地震時のせん断ひずみ (L1) <math>< 1.5 \Sigma te</math> 地震時のせん断ひずみ (L2) <math>< 2.5 \Sigma te</math> 局部せん断ひずみの照査	クロロプレンゴム (CR) 天然ゴム 高減衰ゴム (HDR)	SS400, SUS304, SUS316, SM490, SGD400-D

支承構造や施工性、補修性を考慮し、ゴム支承に関する高耐久化・長寿命化とともに維持・管理について取り組む必要があると考えている。

### 3. 高耐久化・長寿命化への取組み

ゴム支承の基準は、設計許容値や品質管理基準（表 - 1）に示すように、道路橋示方書の改正に伴う使用条件や要求性能の変化に応じて、圧縮応力度の引上げ（ $5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 12 \text{ N/mm}^2$ ）、せん断ひずみの引上げ（ $0.5 \Sigma te \rightarrow 0.7 \Sigma te$ ）および地震時の照査などに対応して、ゴム材料などの性能アップを図ってきた。さらに、今後は社会資本整備に関する情勢の変化に伴いゴム支承のさらなる耐久性能のアップや維持管理および補修技術を確立し、できるかぎりゴム支承および橋梁本体の長寿命化を図ることが重要となる。

これまでゴム支承の耐久性能は100年間の供用を意識した鉛直力支持や水平力支持、水平移動に関する性能確認試験（疲労試験）を行ってきた。しかし、これらの試験はある一定の条件下で確認されたものであり、特殊な環境や実際の供用状態における支承との関連について学術的な比較が少なかった。そこで、現在、特殊な環境や供用状態における経年変化などに伴うゴム支承の依存性等の研究を公的機関とともに実施している。

まず、ゴム支承には温度依存性があることから、低温下ではゴム支承の性能が変化する。そこで、 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下となるような低温環境下におけるゴム支承に関して低温時の性能変化やゴム材料の劣化等についての問題を洗い出し再評価することにした。

兵庫県南部地震以降、免震支承や地震時水平力分散型支承が多数採用された結果、近年、積雪寒冷地に設置されたゴム支承について、ゴム支承の表面にオゾンによると思われるクラックが発生しているとの報告が寄せられている。

それぞれの橋におけるクラックの発生原因はさまざまであるため一元的な原因を確定できないが、その支承の継続使用の可否判定や補修方法等について迅速な対応が必要となる。

ゴム支承が固定・可動支承の場合であれば、表面のオゾンクラックは、ゴム支承本体の性能低下ではないため、橋

の鉛直力支持や水平移動に対し支障とならないと考えられる（写真 - 1, 2）。

一方、免震支承や地震時水平力分散型ゴム支承の場合に表面のオゾンクラックが破断の引き金になる場合やせん断変形性能が大きく損なわれるようであれば、橋の耐震性能に与える影響が大きいため固定・可動支承と同等に考えるわけにはいかない。そこで、縮小供試体を用いて試験室でオゾンクラックの再現実験とクラックが発生した供試体を用いたせん断変形性能実験を行った。

とくに積雪寒冷地の支承周りの損傷が多いため、支承の維持管理、清掃・簡易補修などの判断基準や支承の補修方法（ゴム本体および金具などを含む）および支承交換方法について、(株)土木研究所・寒地土木研究所構造チームとともにポステンT桁を用いた実験・研究を行った。その結果を参考に支承の交換方法や注意点について検討を行った。

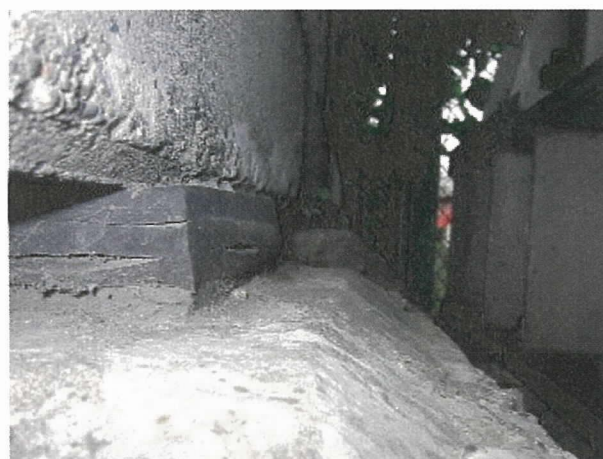


写真 - 1 供用30年以上のポステン桁のパッド型ゴム支承



写真 - 2 供用30年以上のポステン桁のパッド型ゴム支承



### 3.1 寒冷地におけるゴム支承の各種性能の評価研究

橋の耐震性能の向上を担う積層ゴムは一般的に温度依存性があることが知られており、とくに低温下での性能変化は橋の耐震性能に影響を与える可能性があることから、極低温環境下における性能変化に関する実験を行った。ゴム支承本体の内部温度や各部の温度測定および試験中の温度変化の一部を写真-3、図-1に示す。

実験内容については参考文献1)～4)を参照ください。

実験の結果、以下のことが確認できた。

- ① 積層ゴム支承は低温下の剛性は高くなるが、等価減衰定数の変化は小さい。
- ② 等価剛性と等価減衰定数の変化率は比例しない。
- ③ 水平加振回数によって履歴が大きく変化するゴム支承は回数依存性を考慮した妥当な回数(3または5回目)で評価する必要がある。
- ④ 加振1波目の剛性変化は大きい。
- ⑤ 低温での試験は、試験装置等の温度が大きく影響する。

以上のことから、①～④を受けゴム支承の温度依存性を考慮した履歴モデルの策定<sup>5,6)</sup>および動的解析ソフトの構築<sup>7)</sup>について現在検討中である。

また、⑤に関して、低温で行う性能評価試験基準案を策定している。

### 3.2 低温下におけるオゾン劣化の研究

近年、既設橋のゴム支承の側面被覆ゴムの表面にき裂が発生しているとの報告がある。側面被覆ゴムはゴム支承本体の耐候性を高めるために設計寸法の外側に設けた5mm

または10mm程度のゴム層である。き裂は積雪寒冷地に設置される橋梁に多く限定的に発生していることが確認されている。き裂は積雪寒冷地でのゴム支承の長寿命化の観点で重要な現象であり、原因の究明と防止対策が検討された<sup>8)</sup>。その結果、き裂の原因の多くはオゾンによる劣化であることが推定されたため、新たな被覆ゴム材料の耐久性試験として道路橋支承便覧(P218,表-4.2.13試験規格値  $-30^{\circ}\text{C} \times 96\text{hr}$  オゾン濃度 50pphm, 20%伸長)に低温状態の静的耐オゾン劣化試験として取り入れられた。

しかし、ゴム支承の設置環境によってはこの試験を満足したとしても、設置したゴム支承の一部にき裂が発生することがある。同一箇所においてもき裂発生の有無に差があり、その原因については今のところ特定できていない。

そこで、ゴム支承協会技術委員会として、発生しているき裂の程度によってゴム支承本体のせん断変形性能に影響があるのか、確認試験を数件実施し安全性の確認を急ぐことにした。以下にその実験の一部を紹介する。

試験供試体は、試験治具とともにオゾン試験機に設置できる寸法および重量とした。また総局部ひずみをゴムの破断伸び550%となるように圧縮荷重とせん断変位を与え、オゾン濃度50pphmの条件で156時間オゾン試験機に投入した。なお、70時間後よりJIS K 6259 C-3のクラックが発生したが、それ以上クラックが成長しないのでオゾン劣化試験を終了し、オゾン試験機から取り出した。その後、せん断限界試験を実施した。

せん断変形性能試験の結果、レベル2地震動に対する許容せん断ひずみ250%を大きく超えていることが分かった(写真-6)。また、せん断破断については、クラックを起点としていないことが明らかとなり、本実験によってせん断



写真-3 熱電対埋込み試験状況

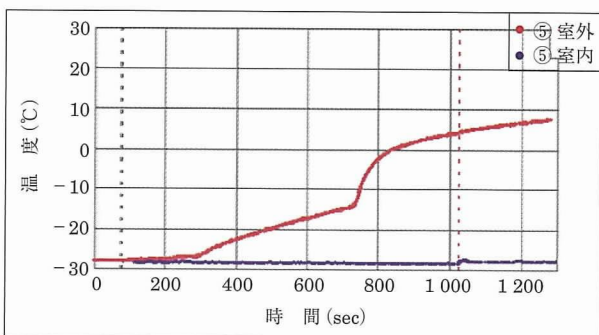


図-1 ゴム支承下面と取付けプレート接触面の温度

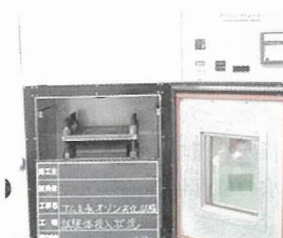


写真-4 オゾン試験機



写真-5 156時間後の表面



写真-6 破断時397%



写真-7 破断部

変形性能に関するかぎりオゾンクラックの影響は否定された。ここで、供試体を用いたオゾン試験機では、実際の橋で発生しているようなき裂の状態(写真-1,2のような深い傷口)ではなく、細かな浅いクラックが多数発生したが、別途内部鋼板に至る傷を人工的に与えせん断変形性能実験を実施したが、この実験においても同様の結果を得ている。



このような複数の実験結果から、せん断変形性能に関してき裂の影響はあまり無いと考えられる。ただし、ゴム支承本体側面の被覆ゴムは内部鋼板の防錆を担っており、内部鋼板はゴム支承の耐荷力に対して重要な構成部材である。そのために鋼板の錆を防ぐためにクラックは補修したほうが良いのではないかと考えている。

### 3.3 支承部の点検・調査・判定・支承交換

すべり面、転がり面の塵詰まりや腐食や部材の変状などによる機能損傷が、外観観察で点検・確認できるもの比べて、ゴム支承では機能損傷の有無を外観観察で確認することが、現状では困難である。ゴム支承の外観観察では、オゾンクラックの状態(図-2)および発錆の発見により、内部鋼板などの異常の可能性を判断する。また、ゴム支承本体の内部構成や材料諸元はその製造時期によって異なるため(表-1)、対処方法が異なることを理解する必要がある。

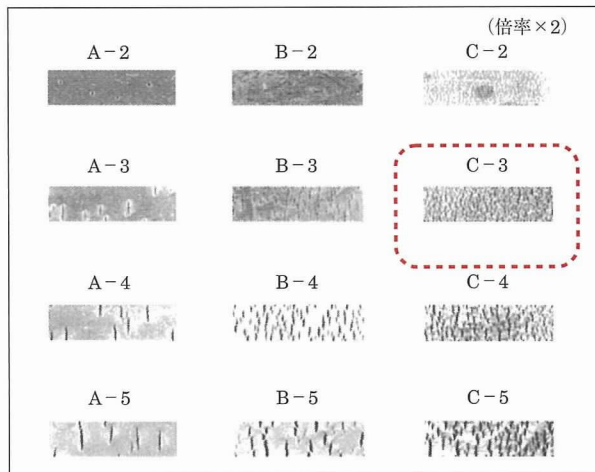


図-2 JIS K 6259 付属書 き裂の状態

支承部の補修は、供用下における狭隘部での施工となり、また、短時間での作業となることが多い。こうした制約条件下において、迅速かつ確実な施工が安全に行えるように、工法や施工機械の選択などについて、(株)土木研究所・寒地土木研究所構造チームとともに実験研究を行った。

その結果をもとに、点検や保守・調査・判定・支承交換作業等についての手引き書を策定している。

写真-8, 9, 10は地震の影響により両端の橋台が前方移動し、ゴム支承に過大な残留ひずみが生じたまま1年以上経過した支承であり、過大変形した支承10個の中で1個にオゾンクラックが見られたため、取り出して性能確認した。せん断剛性の変化は新品に対してほとんど差が無く、約5年の供用および被災によるゴム支承の性能低下は無いと判断した。また、性能試験によるゴム支承表面のオゾンクラックの拡大は見られなかったため、再使用は可能と判断し、耐候性塗料の塗布による補修を行い、さらに補修前に見られた残留ひずみ10mmを4mmへ矯正して現橋に戻した。

橋梁の供用期間の間には、漏水による影響で、支承の鋼



写真-8 地震後180%変形状態と表面の異常部分

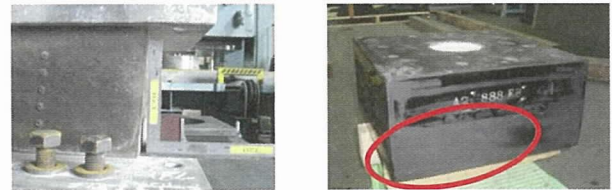


写真-9 補修前(残留10mm) 写真-10 表面補修後

材部が著しく腐食し、機能障害を起こしたり、下部構造の倒れなどの要因で支承部に過大な変形が生じたりすることがあり、支承の交換に至る事例も報告されている。現在では支承部分の耐久性が増すような改良、研究がなされている。しかしながら、大きな荷重を支えつつ滑動する支承部は重要な要素であり、つねに点検、保守を行うべき部位であるともいえる。この観点から支承部はつねに点検を行う環境を整え、より交換可能な支承構造に工夫することが必要と思われる。

ゴム支承では、これまで点検、補修などのメンテナンスを行っていないのが現状であるが、積層ゴム支承や免震支承はゴム支承本体以外に鋼板やアンカーボルトなど鋼材との組合せであることから、鋼材部は発錆の問題を抱えている。そのため、ゴム支承であっても点検、補修などのメンテナンスは必要であると考えている。またゴム材料は、施工中や供用後に外的要因により傷をつけられることや、オゾン、紫外線、日光、さらに漏水による表面劣化やクラックが生じる場合がある。このような表面のクラックが耐久性や要求性能にどのような影響を及ぼすかの適切な判断が必要である。これらをふまえた点検要領およびメンテナンス要領の構築が必要と考える。

写真-11は2009年11月における温根沼大橋の免震支承の支承部の状態である。17年を経ているがゴム支承の表面には老化防止剤が出ており、オゾン等に対する保護膜(ブルームという)が形成されているため、クラックの発生がなく健全であったが、支承の取付けボルトなどの塗装した



写真-11 温根沼大橋免震支承 写真-12 同亜鉛メッキボルト

鋼材は錆が発生しており、ボルトに関しては腐食が進んでいた。しかし、同橋に使用されている付属物を取り付ける亜鉛メッキボルトは白錆程度でありボルト形状およびねじ部は健全であった。このことより鋼材に関してはゴム被覆やメッキ、防錆キャップの採用などしっかりとした対策が必要であると考えられる。

なお、ゴム支承の表面の保護膜はオゾン劣化に対して有効に働くため拭き取らないように留意されたい。

最近、震災による修復作業のため支承交換や、機能不全のための支承交換が増えているが、経済性（初期投資）を優先するあまり支承構造の部品数を少なくし、取替えが容易では無いような構造が多くなっている。これからは取替えが容易な支承構造を提供していくことが必要であると考えている。

写真 - 13 ~ 17 は、実際のポステン T 桁の設置環境を模した状態で、支承交換するための上部下部構造のはつり方法（放電破碎工法とウォータージェット工法ほか）の開発や充てん材料、アンカーボルトの埋込み長さなどさまざまな問題を洗い出し、支承交換手順を策定するために実施した実験状況である。さらに、水平載荷実験を行い、耐震設計で要求する耐力の確認も行った。

これらの実験や研究をもとに、新しい橋においては、ゴム支承の構造やゴム材料の改良、さらに鋼製部材の防錆方法の確立と長期にわたる点検方法、既設橋ではこれに加え

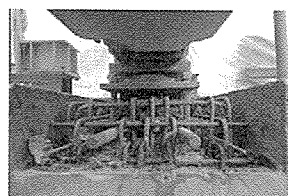


写真 - 16 はつり状況

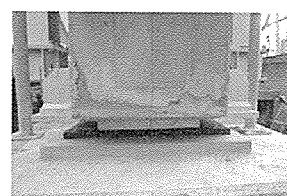


写真 - 17 ゴム支承に交換

て補修・支承交換に関する点検要領およびメンテナンス要領の構築が必要と考える。

以上により、初期費用のほか、補修や維持管理費についても考慮し LCC を最小化できるようなゴム支承を提供することが高耐久化・長寿命化にもつながると考えている。

#### 4. おわりに

兵庫県南部地震以降、ゴム支承が急速に普及したため、ゴム材料のほか、支承の構造やメンテナンス性、さらには、支承の点検や補修についてあまり配慮されていなかったことや、ゴム支承の専門家を十分養成できていないことが、点検や補修等に伴う問題の解決に時間を要していると考えられる。

当面は、今回報告した研究成果をもとに高耐久化・長寿命化につながる提案などをゴム支承協会として発信していきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 今井, 佐藤, 西村, 田中, 三田村: 寒冷地における橋梁用ゴム支承の性能評価実験, 平成 18 年度土木学会北海道支部論文報告集第 63 号, A-22, 2006
- 2) 今井, 佐藤, 西村, 田中, 三田村: 寒冷地における橋梁用ゴム支承の性能評価実験, 平成 19 年度土木学会北海道支部論文報告集第 64 号, A-18, 2007
- 3) 今井, 田中, 佐藤, 三田村: 低温環境下における橋梁用ゴム支承の温度依存性実験, 平成 20 年度土木学会北海道支部論文報告集第 65 号, A-32, 2008
- 4) 吉田, 三田村, 石川, 今井: 積雪寒冷地における橋梁用ゴム支承の性能評価実験, 土木学会第 64 回年次学術講演会, I-383, 2009
- 5) 奥井, A.R.Bhuiyan, 市野, 今井, 三田村: 耐震設計用レオロジーモデルとパラメータの同定: RB と LRB の場合, 平成 19 年度土木学会北海道支部論文報告集第 64 号, A-20, 2007
- 6) A.R.Bhuiyan, M. K. Razzaq, 奥井, 三田村, 今井: A SIMPLIFIED RHEOLOGY MODEL OF NATURAL AND LEAD RUBBER BEARINGS FOR SEISMIC ANALYSIS, 土木学会第 64 回年次学術講演会, I-384, 2009
- 7) A.R.Bhuiyan, M. K. Razzaq, 奥井, 三田村, 今井, 金山: SEISMIC RESPONSE ANALYSIS OF BASE ISOLATED HIGHWAY BRIDGE: EFFECT OF ISOLATION BEARING'S MODELING, 土木学会第 64 回年次学術講演会, I-385, 2009
- 8) 杉本, 溝江, 山本, 池永: 天然ゴム支承の低温耐候性に関する研究, 土木学会論文集 No.693 / VI - 53, 73 - 86, 2001.12

【2010 年 1 月 26 日受付】

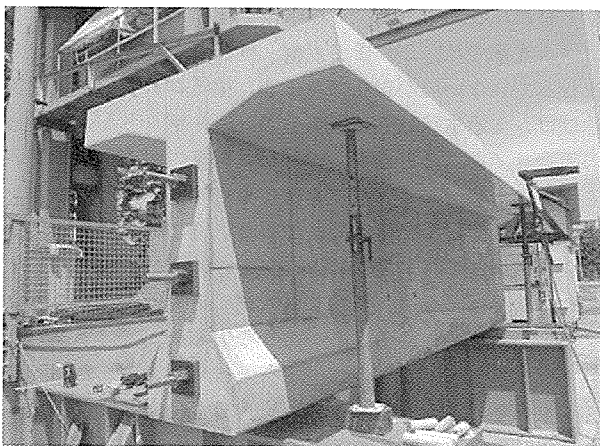


写真 - 13 支承交換に用いた桁 ( $H = 1.5 \text{ m}$ ,  $L = 4 \text{ m}$ )

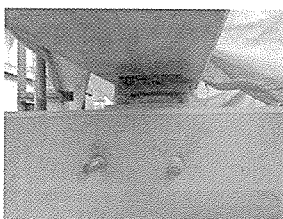


写真 - 14 既設支承部

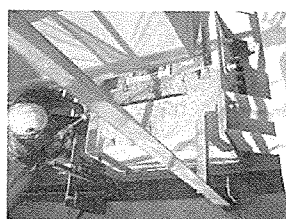


写真 - 15 ウォータージェット