



津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への作用力評価

中西, 陽一
鋤田, 泰子
直田, 梓
米山, 望

(Citation)

土木学会論文集A1 (構造・地震工学), 70(4):I_71-I_79

(Issue Date)

2014

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2014 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003284>



津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への 作用力評価

中西 陽一¹・鍬田 泰子²・直田 梓³・米山 望⁴

¹学生会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: 136t132t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

³学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒611-0011京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: naota.azusa.32v@st.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学防災研究所 (〒611-0011京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: yoneyama.nozomu.4w@kyoto-u.ac.jp

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴い大規模な津波が発生し、それにより太平洋沿岸の土木施設は多大な被害を受けた。本研究では、津波により支承のサイドブロックボルトが破損し、3径間のうち2径間の上部工が流出した釜石市の矢の浦水管橋の被害メカニズムを明らかにするため、津波浸水時の構造物の作用力・耐力のモデル化を行い、直田らの津波遡上解析結果を用いて津波波力の時間経過に伴う上部工の回転とサイドブロックにかかる作用力の評価を行った。分析の結果、支承の破損に上部工の回転が寄与していることが確認できた。また、浸水深が浅ければ上部工に作用する水平・鉛直波力により川下側への回転が優勢であった。さらに、水管橋と道路橋の間隔が狭くなれば、送水管への波力が大きくなり、損傷しやすいことがわかった。

Key Words : tsunami, water-pipe bridge, Tohoku earthquake, bearing

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴い大規模な津波が発生した。この津波により震源域に近い東北地方太平洋沿岸を中心に多くの橋梁や水管橋等の河川横断構造物が被災した¹⁾。上下水道の管路の多くは地下構造物であるが、水管橋や橋梁の添架管は地上にあるため津波が河川を遡上する際に曝され流出する可能性が高い。また、水循環ネットワークの一端を担っている水管橋や添架管が被災すると広域に機能停止が波及し、迅速な復旧の妨げになる。被災者の生活水準の確保という観点からもライフラインの早期復旧は重要である。

著者らは、これまで水管橋や橋梁の添架管の津波被害状況を調査・分析してきた^{2,3)}。津波による管路被害の多くは小口径の添架管であったが、被害を受けた水管橋で最大の口径のものが岩手県釜石市にある矢の浦水管橋であった。本水管橋は、岩手県釜石市の甲子川を横断しており、川上側の支承のサイドブロックが外れることに

より、3径間のうち2径間の上部工のみが流出した(図-1)。上部工が流出した道路橋の被害事例において、川上側の支承のサイドブロックが外れることにより流出した事例は少ない⁴⁾。また、水管橋の川下側に敷設されている矢の浦橋には目立った被害がなかった。

片岡ら⁴⁾は、地震動と津波浸水を受けた矢の浦橋が被害を受けなかった理由について水管橋を含めて解析的に検討している。また、直田ら⁵⁾は、矢の浦水管橋に作用する津波外力について、二次元と三次元の津波遡上解析



図-1 現地の様子

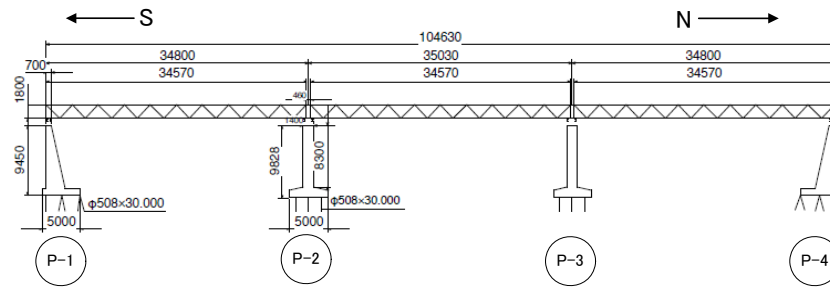


図-2 矢の浦水管橋 側面図

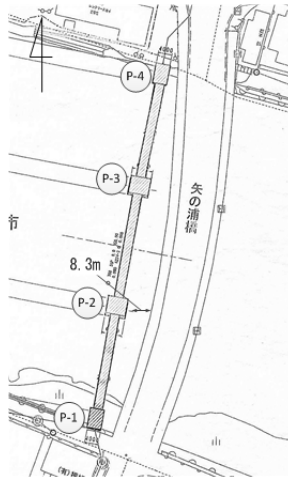
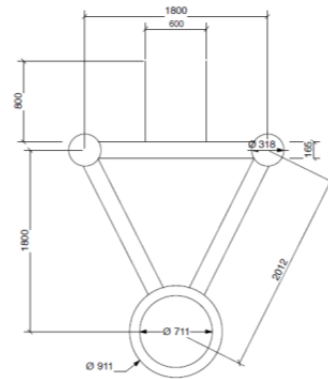

図-3 矢の浦水管橋敷設位置 (参考文献⁶⁾ に加筆)


図-4 矢の浦水管橋 断面図

を比較しながら検討している。これらの解析結果から、水管橋の上部工に作用する外力は明らかになってきた。しかし、本水管橋に見られた川上側の支承のサイドブロックが外れた被害メカニズムについては検討されておらず、まだ不明瞭な点が多く存在する。

そこで本研究では、支承のサイドブロックボルトの損傷状況からボルトの作用力についてモデル化を行い、直田ら⁵⁾の津波遡上解析で算出された波力を用いて矢の浦水管橋のサイドブロックボルトの作用力の評価を行う。以上の分析によって被害メカニズムを明らかにすることを目的とする。さらに本研究では、道路橋と水管橋との離隔による作用力の違いについても触れる。

2. 矢の浦水管橋の概要と被害状況

(1) 水管橋の概要

矢の浦水管橋は前述したように岩手県釜石市の甲子川を横断する橋梁で、支間長は34.8m+35.03m+34.8m、全長は104.63mに及ぶ3径間のトラス補剛形式水管橋である(図-2)。水管橋の南東にある下水処理場への送水管として利用されているため、口径がφ700と大口径となっている。川上側に敷設された矢の浦橋の平面形状が川下方向に弓なりになっており、水管橋と道路橋との橋脚の

表-1 矢の浦水管橋概要⁶⁾

名称	矢の浦水管橋
形式	トラス補剛形式水管橋
竣工	1978(昭和53)年3月
橋長	104.63(m)
支間長	34.8+35.03+34.8(m)
送水管径	711.2 ^φ ×12 ^t
使用鋼材	送水管
	配管用アーク溶接炭素鋼鋼管(STPY)
補剛材	補剛材
	一般構造用炭素鋼鋼管(STK)

離隔は最大8.3mある(図-3)。図-4の上部工の断面に示すように、トラスの下弦材は送水管として配管用アーク溶接炭素鋼鋼管(STPY)が使用され、上弦材は補剛材として炭素鋼鋼管が配置されている。本水管橋の概要を表-1に示す。

(2) 津波による被害状況

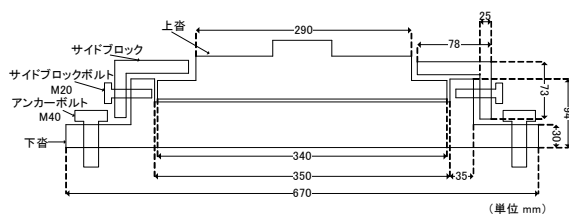
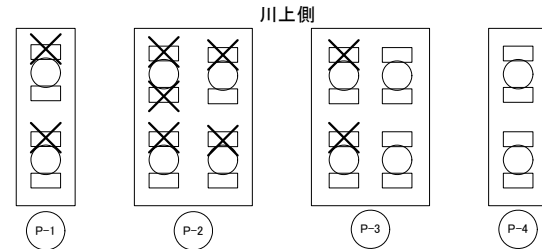
本水管橋では、3径間の内、南側の2径間の上部工が津波で流出し、北側1径間と橋脚は残存した。この流出により管路は通水不可能となった。水管橋の川下に敷設されている矢の浦橋も浸水したが、防護柵が欠損、変形した程度で目立った被害は見られなかった。水管橋から甲子川河口までの水平距離は1,050m、甲子川の川幅は98m、河床からの管路中心までの高さは4.5mである。周辺の浸水深は5.8mと推定されている⁷⁾。流出した管路は甲子川



図-5 水管橋支承部(P-3)



図-6 水管橋支承部(P-2)

図-7 支承断面図(参考文献⁶⁾に基づき作図)図-8 支承部上面図
(×: サイドブロックの損傷箇所)

の上流側約200mの場所に漂着していたことから、水管橋は遡上した津波により破壊されたと考えられる。東北地方整備局釜石港湾事務所からの津波襲来時のビデオ映像⁸⁾ではこの地点周辺の建物の2階まで津波が襲来しており、推定浸水深は妥当であると考えられる。また、津波襲来前には水管橋があったことから、管路流出原因も津波であることを確認している。

道路橋から見た水管橋の支承部の状況を図-5, 6 に示す。図-7 は水管橋に採用されている支承板支承の断面図を示している。図を参照すると、下沓の凸部は変形なく残存し、写真奥手のサイドブロックとサイドブロックボルトが外れ、上沓とともに管路が流出している。手前のサイドブロックは残存しているものが多い。図-8 はサイドブロックの損傷状況をまとめたものである。流出した P-1, P-2 間と P-2, P-3 間の管路を支持している支承については全て川上側のサイドブロックが破損しており、川下側は損傷があまり見られなかった。一方、流出しなかった管路の支承については、目視で確認できる範囲ではボルトの抜けやサイドブロックの変形はなかった。

本支承の機構上、下沓の凸部が変形せずに残存していることから、凸部を介して水平方向にサイドブロックを押し込むことは考えにくい。また、サイドブロックで留められた下沓には水平移動するような空間的余裕はなく、川上側のみのサイドブロックが損傷していることから、上向きの荷重のみでサイドブロックボルトにせん断力が作用することも考えにくい。つまり、管路が川下方向に回転をしなければ、片方だけのサイドブロックの損傷を

説明することは難しくなる。

著者らの津波による水管橋の被害調査では、河川中央に橋脚・支承のある水管橋の事例は他にない²⁾。本津波で上部工が流出した道路橋の調査報告事例では、支承全体が上部工とともに流出する、下流側のサイドブロックが流出する事例はあったが、上流側のサイドブロックが流出する事例はほとんど無かった。津波浸水時の道路橋の桁に作用する力や耐力評価は、2004 年スマトラ島沖地震を契機に多くの研究者によって事例分析や実験、解析を通して検討されてきた⁹⁾。道路橋の場合、被災事例が多く、上部工が矩形であるため、系統的に被害パターンが分類され、津波作用力の評価式が構築されている。しかし、水管橋のように円形断面と補剛材を有する断面に対してそれらが適用できるのか、検討の余地がある。

3. 水管橋の耐力と上部工に作用力の評価方法

(1) 支承損傷のシナリオ

水管橋の上部工断面を送水管と主部材(上弦材)のみの単純構造とし、水管橋の径間を対象として津波の作用力、水管橋の耐力を評価することを試みる。サイドブロック自体に破損は見られないことから、管路流出メカニズムは、以下のように考えた。津波の波力によって上部工が管軸方向に回転し、上沓がサイドブロックを押し上げる。サイドブロックボルトは曲げモーメントを受けて曲げによって破損することにより、サイドブロックが

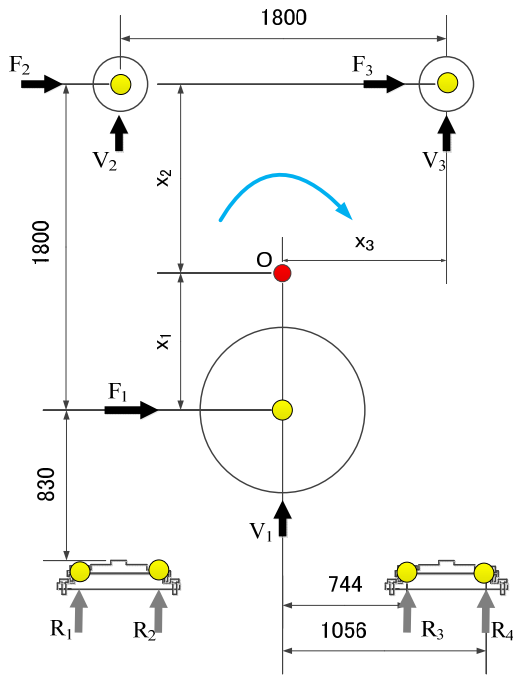


図-9 上部工単純構造図

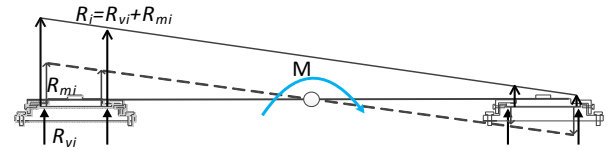


図-10 支承サイドブロック鉛直反力の算出

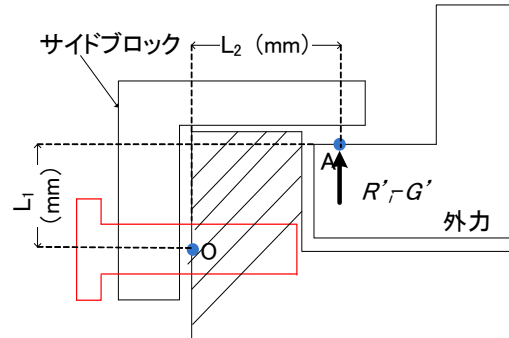


図-11 サイドブロック1本に作用する力

外れて管路が流出する。この仮定に基づき、支承に作用する外力、サイドブロックボルトの耐力と作用力について評価できるものとする。

(2) サイドブロックボルトの耐力

想定される管路流出メカニズムより、本水管橋の耐力を支承のサイドブロックボルトの曲げ耐力とする。サイドブロックボルト一本の曲げ抵抗値 R_b は式(1)で表される。本水管橋の場合、曲げ抵抗値 R_b は 225.6 kNmm となる。

$$R_b = \sigma_b Z \quad (1)$$

R_b : 曲げ抵抗値(Nmm)

σ_b : 許容引張応力度(470 N/mm²)¹⁰⁾

Z : ボルトの断面係数(480 mm³)

(3) 支承に作用する外力

支承に作用する外力については奈良崎ら¹¹⁾を参考に、送水管に作用する水平、鉛直方向の波力を F_1, V_1 とし、主部材に作用する水平、鉛直方向の波力をそれぞれ F_2, F_3, V_2, V_3 とする(図-9 参照)。また、支承のサイドブロックに作用する力は、重心 O を中心とした上部工全体に作用する水平、鉛直波力に伴う回転モーメント M も考慮する。本稿では、図-9 に示すように水管橋上部が川上側への軸回転する方向を時計回りと呼ぶ。サイドブロックの鉛直反力 R_i は、回転モーメント M による鉛直反力 R_{mi} と鉛直波力による鉛直反力 R_{vi} を合力とした(図-10)。支承を回転自由として考えた場合、各支承

反力は式(2)～式(4)で表される。

$$R_i = R_{mi} + R_{vi} \quad (2)$$

$$R_{vi} = \frac{\sum V_i}{n_l} \quad (3)$$

$$R_{mi} = \frac{M z_i}{n_d \sum z_i^2} \quad (4)$$

R_i : 各サイドブロックに作用する鉛直反力

R_{vi} : 鉛直波力による鉛直反力

n_l : 水平方向のサイドブロックの数

R_{mi} : 回転モーメントによる鉛直反力

F_i, V_i : 上部工に作用する水平、鉛直波力

M : 波力による回転モーメント

z_i : 各サイドブロックの中心からの距離

n_d : 奥行方向のサイドブロックの数

(4) サイドブロックボルトに作用する外力

サイドブロックボルトに作用する力は、本水管橋の上部工の自重 G と上部工に作用する津波波力とする。上部工の自重は、送水管内に下水が満水状態であったと仮定し、一径間で 269.3kN となる。サイドブロックボルト一本に作用する曲げ応力 F_b は式(5)で算出する(図-11 参照)。ただし、津波による鉛直反力は重力よりも大きいものとした(式(6))。

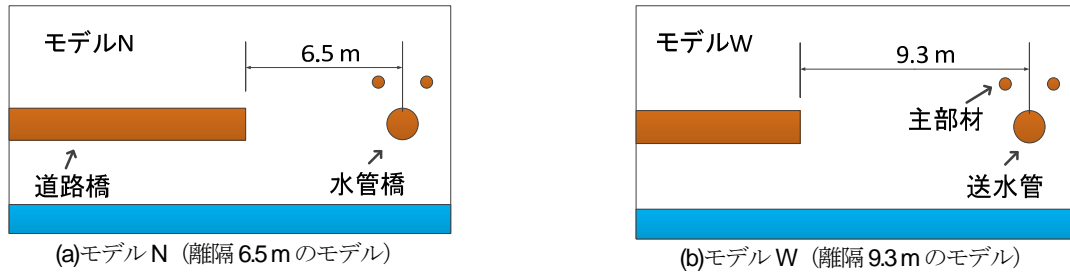


図-12 離隔モデル図

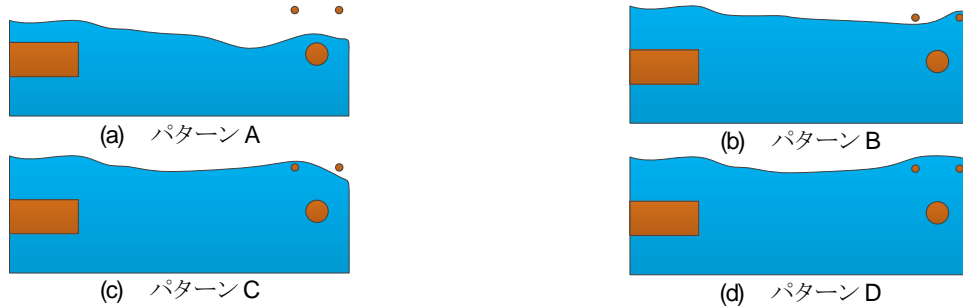


図-13 時間経過における水管橋浸水パターンイメージ図

$$F_{bi} = L_2(R'_i - G') \quad (5)$$

$$\text{ただし, } R'_i > G' \quad (6)$$

$$R'_i = \frac{R_i}{N} \quad (7)$$

$$G' = \frac{G}{Nn_d n_l} \quad (8)$$

F_{bi} : サイドブロックボルト一本に作用する曲げ応力

R'_i : サイドブロックボルト一本に作用する鉛直反力

N : サイドブロックあたりのボルトの本数

G' : サイドブロックボルト一本に作用する上部工の自重

4. 津波作用力評価方法の矢の浦水管橋への適用

(1) 外力ケースの設定

直田ら⁵⁾は鉛直二次元数値解析により、矢の浦水管橋の送水管、主部材に作用する波力の算出を行い、上部工の流失には主部材に作用する波力によるトルクの影響が大きいことを示唆しているが、水管橋自体の耐力に関して考察していない。そこで、本研究では被害状況から新たに被害メカニズムの仮定を行い、支承部分のサイドブロックボルトの耐力評価のモデル化を行う。さらに水管橋の浸水パターンに応じて、上部工に作用する鉛直反力、回転モーメントを解析結果から再整理して水管橋の作用

力と耐力を評価する。

水管橋に作用する波力は、直田ら⁵⁾が鉛直二次元数値解析により求めた、モデル W (道路橋と水管橋の離隔が大きい場合 9.3m) とモデル N (道路橋と水管橋の離隔が小さい場合 6.5m) の時の各部材に作用する波力を用いる。離隔は道路橋の橋桁上部から水管橋の送水管中心までの距離である (図-12 参照)。津波の入力条件には、釜石湾沖に設置されている岩手南部沖 GPS 波浪計の観測データを入力波として釜石湾の津波の挙動解析をした結果¹²⁾の内、甲子川河口での水位変化を用いている。また、本解析では道路橋の桁上と水管橋の送水管の管頂の高さを揃えているが、著者らの現地測量からもこれらの高さがほぼ同じであることを確認している。また、河床の高さは三径間でそれぞれ異なっているが、解析上では一断面のみ扱っている。

解析は、津波遡上の時刻歴解析であるため、送水管と主部材の作用波力の最大となる時刻は同じではない。また道路橋背後にあるため、水面の変化が著しいと考えられる。そこで、時間経過による波力の変化として、パターン A (送水管のみ浸水時)、パターン B (送水管と川上側の主部材が浸水時)、パターン C (送水管と川下側の主部材が浸水時)、パターン D (送水管と両側の主部材が浸水時) の 4 つの浸水パターンを考慮する。図-13 は浸水パターンの例を示している。各パターンは、津波の作用力で分類するものではなく、浸水状況による管路部材への作用力のパターンで分類したものである。

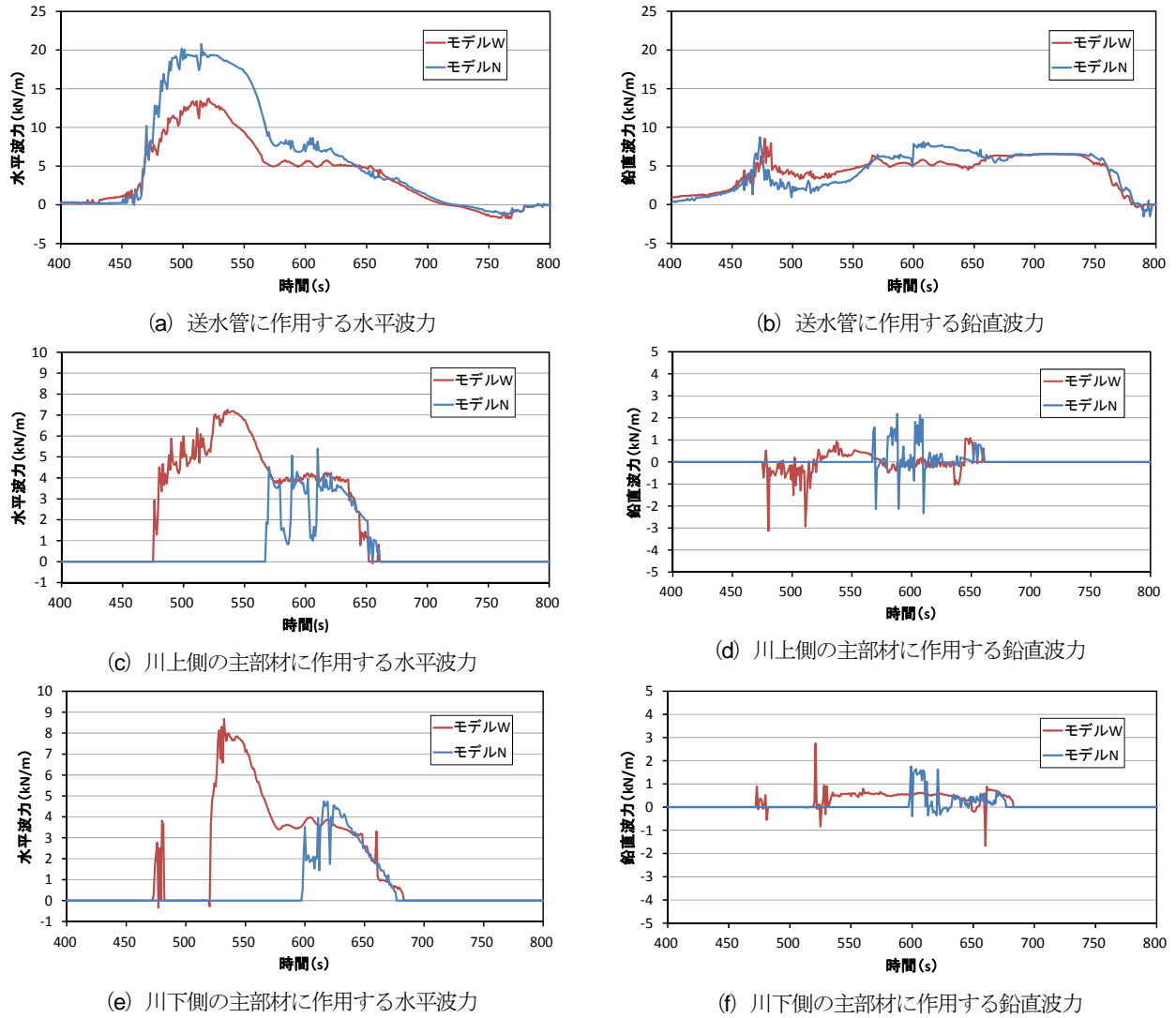


図-14 鉛直二次元解析により求めた管路部材に作用する波力

水管橋上部工に作用する力として、水面上昇による各部材の水平前後面、上下面の水圧差分をそれぞれ水平波力、鉛直波力としている。パターン A では送水管に作用する水平、鉛直波力のそれぞれの最大時の水平及び鉛直波力を用いた。パターン B, C, D については、送水管、主部材に作用する水平、鉛直波力のそれぞれの最大時の波力を用いた。さらに主部材に作用する鉛直波力最小時の送水管、主部材に作用する水平、鉛直波力を用いた。図-14 は鉛直二次元解析で得られた送水管、主部材に作用する水平、鉛直波力を示している。波力の特徴として、道路橋と水管橋との離隔が広い方（モデル W）が主部材に作用する波力が大きく、離隔が狭い方が送水管に作用する水平波力が大きくなっている。鉛直波力については、モデル間で大きな違いは見られなかった。また、図からモデル N では送水管が浸水してしばらくして主部材が浸水するが、モデル W では送水管の浸水ほぼ同時に川上側の主部材が浸水することがわかる。

(2) 矢の浦水管橋の支承サイドブロックの耐力評価

表-2 は図-14 の結果に水管橋の中央径間部分の奥行方向の延長(35.03 m)を乗じて、浸水パターン別に送水管・主部材に作用する最大・最小時の送水管・主部材に作用する波力をまとめたものである。表-2 で設定した道路橋と水管橋との離隔のモデル、波の浸水パターン、波力の条件ケースをそれぞれ考慮して、サイドブロックボルト一本に作用する曲げモーメント F_b を算出し、サイドブロックボルト一本の曲げ抵抗 R_b に対する曲げモーメント F_b の比（作用力抵抗力比 F_b/R_b ）を算出した。

例としてモデル N のケース 1 の算出方法を示す。表-2 より、送水管のみ浸水したパターン A の状態で、送水管に作用する水平波力最大時（時刻 $t=515$ s）の送水管に作用する水平・鉛直波力は $F_x=729$ kN, $V_x=53$ kN である。各波力を式(3)、式(4)に代入して、鉛直波力、曲げモーメントによる鉛直反力はそれぞれ $R_{if}=6.6$ kN, $R_{if}=74.0$ kN

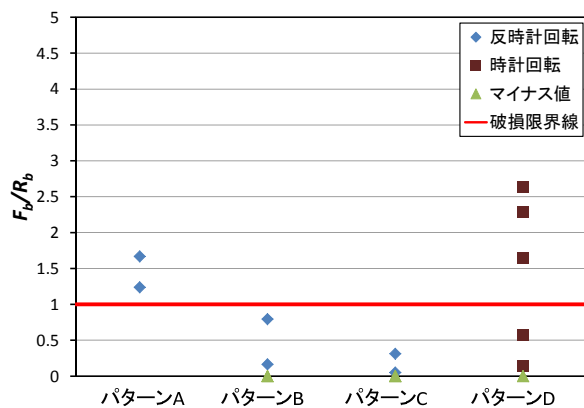
表-2 上部工に作用する波力 (kN)

(a) モデル W (道路橋と水管橋間隔 9.3m) (単位: kN)

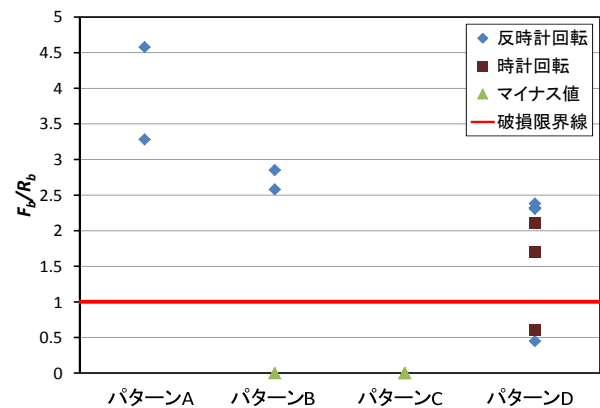
ケース	パターン	条件	時刻(s)	F ₁	V ₁	F ₂	V ₂	F ₃	V ₃
1	A	F ₁ (MAX)	470	268	188	-	-	-	-
2		V ₁ (MAX)	471	225	188	-	-	-	-
3		F ₁ (MAX)	508	469	119	-	-	204	-6
4		V ₁ (MAX)	482	287	278	-	-	118	-22
5	B	F ₃ (MAX)	511	469	142	-	-	223	-102
6		V ₃ (MAX)	502	425	127	-	-	179	7
7		V ₃ (MIN)	511	469	142	-	-	223	-102
8		F ₁ (MAX)	653	177	185	82	0	-	-
9	C	V ₁ (MAX)	682	80	223	13	10	-	-
10		F ₂ (MAX)	652	173	183	91	-5	-	-
11		V ₂ (MAX)	661	159	212	41	31	-	-
12		V ₂ (MIN)	652	173	183	91	-5	-	-
13	D	F ₁ (MAX)	521	481	123	127	96	188	7
14		V ₁ (MAX)	522	194	223	170	20	165	12
15		F ₂ (MAX)	523	433	137	304	4	234	16
16		V ₂ (MAX)	524	481	123	127	96	188	7
17		V ₂ (MIN)	525	454	125	191	-29	243	10
18		F ₃ (MAX)	526	408	149	279	17	254	16
19		V ₃ (MAX)	527	168	172	88	-5	50	38
20		V ₃ (MIN)	528	176	176	117	17	103	-36

(b) モデル N (道路橋と水管橋間隔 6.5m) (単位: kN)

ケース	パターン	条件	時刻(s)	F ₁	V ₁	F ₂	V ₂	F ₃	V ₃
1	A	F ₁ (MAX)	515	729	53	-	-	-	-
2		V ₁ (MAX)	473	287	305	-	-	-	-
3		F ₁ (MAX)	568	337	206	-	-	66	50
4		V ₁ (MAX)	589	289	227	-	-	177	-75
5	B	F ₃ (MAX)	589	289	227	-	-	177	-75
6		V ₃ (MAX)	588	254	209	-	-	75	76
7		V ₃ (MIN)	570	329	225	-	-	158	-75
8		F ₁ (MAX)	661	127	214	56	7	-	-
9	C	V ₁ (MAX)	663	117	218	53	6	-	-
10		F ₂ (MAX)	662	123	216	62	9	-	-
11		V ₂ (MAX)	669	115	204	31	23	-	-
12		V ₂ (MIN)	665	114	211	51	4	-	-
13	D	F ₁ (MAX)	606	302	275	67	51	35	27
14		V ₁ (MAX)	608	272	284	54	41	42	32
15		F ₂ (MAX)	616	248	263	166	8	124	7
16		V ₂ (MAX)	599	274	173	81	61	119	12
17		V ₂ (MIN)	600	243	274	123	-13	113	-5
18		F ₃ (MAX)	610	287	276	70	54	189	-82
19		V ₃ (MAX)	607	254	260	73	56	59	74
20		V ₃ (MIN)	610	287	276	70	54	189	-82



(a) モデル W (間隔 9.3m)



(b) モデル N (間隔 6.5m)

図-15 作用力抵抗力比

表-3 作用力抵抗力比結果表

ケース	パターン	モデルW			モデルN		
		回転方向	F _b (kN)	F _b /R _b	回転方向	F _b (kN)	F _b /R _b
1	A	反時計	376	1.7	反時計	1033	4.6
2		反時計	279	1.2	反時計	740	3.3
3	B	反時計	-33	-0.1	反時計	643	2.9
4		反時計	179	0.8	時計	-212	-0.9
5		反時計	-557	-2.5	時計	-212	-0.9
6		反時計	37	0.2	反時計	582	2.6
7	C	反時計	-557	-2.5	反時計	-290	-1.3
8		反時計	-92	-0.4	反時計	-42	-0.2
9		反時計	11	0.0	反時計	-45	-0.2
10		反時計	-134	-0.6	反時計	-63	-0.3
11		反時計	70	0.3	反時計	-19	-0.1
12		反時計	-134	-0.6	反時計	-65	-0.3
13		時計	32	0.1	反時計	520	2.3
14		時計	595	2.6	反時計	524	2.3
15	D	時計	372	1.6	時計	382	1.7
16		時計	32	0.1	反時計	101	0.4
17		時計	-213	-0.9	時計	137	0.6
18		時計	517	2.3	時計	475	2.1
19		反時計	-52	-0.2	反時計	537	2.4
20		時計	130	0.6	時計	475	2.1

※回転方向 (川上側への回転を時計回転, 川下側への回転を反時計回転)

曲げ抵抗値 $R_b=225.6\text{kNm}$ を用いて作用力抵抗力比 $F_b/R_b=4.6$ と算出した。他のケースと作用力抵抗力比の結果をまとめたものを図-15と表-3に示す。

図表中の回転方向は、前述したように水管橋上部の川上側への回転を時計回転、川下側への回転を反時計回転としている。図-15に示すマイナス値はサイドブロックボルトに作用する鉛直力よりも自重の方が大きい場合を示した点であり、式(6)の条件を満たさず、上部工が浮上しないため、支承の回転による破損はないと考えられる。

送水管、主部材に作用する鉛直波力のみ考慮した場合では、自重よりも大きくなるのがほとんどなく、鉛直浮上によるサイドブロックボルトの破損は見られなかった。一方、図-15より作用力抵抗力比が1.0を超えているケースが見られることから、上部工の回転モーメントがサイドブロックボルトの破損に大きく寄与していることが確認できる。道路橋では上部工の水平断面が横長であるが、水管橋では縦長断面であるため重心と浸水過程において道路橋よりも回転による損傷が大きくなる。

が得られ、式(2)から $R=80.6\text{ kN}$ となる。さらに式(5)より、曲げ応力は $F_b=1,033\text{ kNm}$ となる。式(1)より求められる

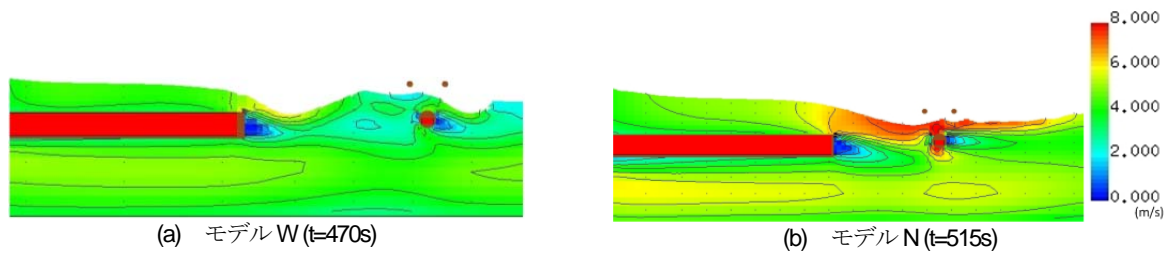


図-16 ケース 1における流速分布図

上部工に作用する水平、鉛直波力に伴う回転について道路橋と水管橋の間隔の違いに問わず浸水パターンがA～Cであれば反時計回転の方が多くみられた。一方、浸水パターンがD（全浸水の場合）には、時計回転の損傷が多くなる。さらにパターンC（送水管と川下側の主部材のみ浸水時）では離隔に問わず損傷が見られなかった。水管橋の重心が管路の上部にあるため、津波の浸水深によって回転方向が著しく変化する。また、水管橋と道路橋の間隔が狭い（モデルN）方が、間隔が大きい場合に比べて、送水管に作用する水平波力が大きくなるため作用力抵抗比が大きくなる傾向が見られた。道路橋背後にある水管橋は、道路橋があるために波力が低減するかと考えられるが、解析では図-16に示すように道路橋のごく背後の2m程度までは流速が小さいが、道路橋の桁上層の速い流れが直接送水管にあたるため、モデルNの方が送水管に作用する波力が大きくなる。

実際の矢の浦水管橋の被害では、反時計回りで水管橋が損傷、流出しているの、水管橋の浸水深が浅く送水管だけが浸水しているパターンAの状況でサイドブロックボルトが損傷したと考えられる。離隔モデルに関わらずパターンAの作用力抵抗比は1.0を超えており、解析による浸水のプロセスは浸水パターンAからB、Dに以降し、最終的に浸水パターンCに移行していることから、初期段階での損傷といえる。また、本解析と作用力の評価では、離隔の差異に着目して検討した結果で、離隔の狭い方が損傷しやすいことがわかった。

現場では、南側の河床が北側二径間に比べて高くなっており、南側の流速が速くなっていたことも考えられる。河床高さによる津波速度の違いについては、今後の検討する予定である。

5. 結論

本研究では釜石市の道路橋背後に敷設されている矢の浦水管橋が津波浸水により流出した被災メカニズムを明らかにするため、新たに津波浸水時の構造物の作用力・耐力のモデル化を行い、直田ら⁵⁾の津波遡上解析結果を用いて津波波力時間経過に伴う上部工の回転とサイドブ

ロックの作用力の評価を行った。本研究の結論を以下にまとめる。

- 川上側のサイドブロックボルトが損傷して管路が流出した本水管橋は、上部工が縦長断面であるため、重心と浸水深のバランスにより上部工の回転モーメントが支承の破損に上部工の回転モーメントが寄与していることが確認できた。
- 水管橋上部工の回転方向は浸水プロセスによって著しく変化することがわかった。浸水深が浅ければ上部工に作用する水平・鉛直波力により川下側への回転が優勢であった。
- 浸水プロセスと作用力の評価により、水管橋の被害は送水管のみが浸水する初期段階で損傷したと考えられる。
- 水管橋と道路橋の間隔が狭い方が、道路橋の桁上層の速い流れが直接送水管にあたるため、送水管に作用する水平波力が大きくなり、損傷しやすいことがわかった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、釜石市建設部下水道課、国土交通省東北地方整備局、東北地方整備局三陸国道工事事務所に資料を頂き参考にさせて頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 川島一彦，西岡勉，高橋良和，秋山充良，渡邊学歩，古賀裕久，松崎裕：土木学会東日本大震災被害調査団（地震工学委員会）緊急地震被害調査報告書，第9章 橋梁の被害調査，2011.
- 2) 中西陽一，鉦田泰子：東日本大震災における水管橋・添架管の津波被害分析，日本地震工学会・年次大会2012，pp.18-19，2012.
- 3) 中西陽一，鉦田泰子：水管橋・添架管の津波被害とがれき堆積物との関係，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集（CD-ROM），I-35，2013.
- 4) 片岡正次郎，金子正洋，長屋和宏：津波が流出した被害が軽微な道路橋の地震・津波応答解析，第16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.7-12，2013.

- 5) 直田梓, 米山望, 鉦田泰子: 東北地方太平洋沖地震津波による矢の浦水管橋の被害に関する数値解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, 1353-1358, 2013.
- 6) 釜石市下水道事務課: 矢の浦水管橋 設計図
- 7) 「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」, URL : <http://www.coastal.jp/tjt/> (2013年8月30日閲覧)
- 8) 国土交通省東北地方整備局 提供資料
- 9) 幸左賢二, 宮島昌克, 藤間功治, 庄司学, 小野祐輔, 重枝未玲, 廣岡明彦, 木村吉郎: 津波による道路構造物の被害予測とその軽減策に関する研究, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート No.19-2, 国土交通省道路局 新道路技術会議, 2010.6
- 10) (社)日本道路教会: 道路橋支承便覧, 2004.
- 11) 奈良崎泰弘, 田村賢治, 佐々木達夫: 橋梁上部工に作用する津波波力特性および支承応答に関する解析的考察, 第16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.273-280, 2013.7
- 12) 米山望, 森 信人, 三輪真輝: 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の釜石湾における挙動の数値解析, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, p.1161-1165, 2012.

(2013.11.1 受付, 2014.3.6 修正, 2014.3.7 受理)

EVALUATION OF ACTING FORCE TO WATER-PIPE BRIDGE BEHIND ROADWAY BRIDGE UNDER TSUNAMI INUNDATION

Yoichi NAKANISHI, Yasuko KUWATA, Azusa NAOTA and Nozomu YONEYAMA

This study focuses on the damage mechanism of the Yanoura water-pipe bridge behind roadway bridge during the tsunami in 2011. The superstructure of the water-pipe bridge was flooded away due to breakage of side-block bolts at river-upstream side. Acting force to the side-block bolt of bearing under tsunami inundation is modeled as formulation in this study. The rotation of superstructure and damage to side-block bolt are evaluated by the ratio of acting force to resistance force using result of the tsunami numerical simulation by Naota et al. As the evaluation result, the rotational moment of superstructure contributes the damage of side-block bolt. When the superstructure is not completely covered with the tsunami wave, the superstructure rotates downstream of river as the actual flooded superstructure did. As the interval of two bridges becomes narrow, the wave force to the water-pipe increase and the side-block bolt becomes more likely to have damage.