

既存サイホンの耐震性能照査のための 優先順位決定指標の提案

平山 智章¹⁾・鍬田 泰子²⁾・有野 治³⁾

¹ 正会員 鹿島建設株式会社 土木設計本部 (〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

E-mail: hirayato@kajima.com

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

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

³ 非会員 (独)水資源機構 豊川用水総合事業部 次長 (〒440-0801 愛知県豊橋市今橋町 8)

E-mail: osamu_arino@water.go.jp

サイホンは基幹管路の一構造物として重要な構造物であり、縦断方向の水路勾配が急であるために横断方向に合わせて縦断方向の耐震性を確保しておく必要がある。しかし、縦断方向の耐震設計法が確立されないまま建設されており、現在においてもサイホンの耐震性を対象とした研究事例は少ない。本研究では、サイホンの耐震性能照査手法を設定し、それに基づいてパラメータ解析によってサイホンの耐震上問題となる条件を整理した。さらに、耐震性能照査の第一段階として、複数のサイホンの中からより優先順位の高いサイホンを選定する指標の構築を行った。パラメータ解析の結果、縦断方向においては、曲げに対する照査が重要であり、水路勾配が耐震性能に最も影響を与えることが示された。

Key Words: siphon pipe, dynamic analysis, seismic performance, parametric study

1. はじめに

我が国では 1950 年代以降の水需要の増加に合わせて水資源の開発とともに用水供給のための基幹管路の整備が進められた。サイホンは、開水路型式の水路の中で、エネルギー線以下にある低位部を通水する場合に設けられる自然流下の満流管体による水路¹⁾のことで、大容量送水においても動力設備を必要としない利点がある。そのため、基幹管路の中で道路や河川、ため池等の横断箇所や谷筋の横断箇所に採用され、現在も用水供給の一翼を担っている。

サイホンは、トンネル等の地中線状構造物と構造的に同等として見なせるが、縦断方向の水路勾配が急であるため、耐震上は横断方向以外に縦断方向の検討が重要となる。しかし、既存サイホンの多くは、地中構造物の耐震計算法である応答変位法が確立される以前の 1950～70 年代に建設され、設計時に十分な耐震検討がなされていない。さらに、現在も具体的な耐震計算法を示した指針類はなく、サイホンの耐震性に関する研究事例も少ない。過去の地震において、サイホンに甚大な被害が出たことは報告されていないが、一度供用が開始されると直接内部を点検することは難しく、劣化や損傷の点検が

できず、補強等もなされていない。過去に経年劣化によってサイホンの継目部で漏水が起り、水が吹きあげる事例があったが、目地外部より漏水箇所を鋼板で覆う他に有効な復旧工法もない現状にある。

そこで本研究では、サイホンの耐震性能照査手法を設定し、それに基づいて既存サイホンの耐震性能を簡易的かつ定量的に評価できる指標を提案することを目的とする。複数の既存サイホン全てに詳細な調査や解析による耐震性能照査を実施することは、経済的に非常に難しい。そこで、耐震性能照査の第一段階として、複数のサイホンの中からより簡易的に耐震上問題となりうるサイホンの優先順位を決めて、選定する。

具体的には、サイホンの断面形状や勾配、地盤条件を踏まえて、複数のサイホンのモデルを対象にして地震応答解析を行う。そして、耐震上問題となる条件を整理し、解析結果の統計処理によって、より優先順位の高いサイホンを選定する指標の構築を目指す。

なお、本研究ではサイホンの耐震性についての解析検討を試みるが、検討断面には縦断方向のみを取り扱う。この理由としては、地下鉄トンネルのような大断面の地中構造物に比べ、直径数メートル程度のサイホンでは、断面崩壊に至るような大規模な損傷は過去の被災事例で

確認されていないこと²⁾、地中構造の地震被害例は、上下水道、エネルギー供給施設の縦断方向に多く見られること²⁾が挙げられる。また、既往の地中構造物の縦断方向における解析³⁾では、地形及び地盤物性の変化の大きいところで地盤のひずみが増加し、構造物の耐震性能に影響を与えている。

2. サイホンの耐震性能照査法

本論後半のパラメータ解析によって複数のサイホンのモデルに対して耐震性能照査を行うため、はじめにサイホンの耐震性能照査法を設定する。サイホンは、水道用水、農業用水、工業用水と様々な用途に使用されているため、それぞれの設計指針があるが、中でも水道施設耐震工法指針⁴⁾（以下、水道指針と呼ぶ）は耐震設計について詳しいので、これを参考にする。

2009 年の水道指針の改訂によって性能設計が導入された以降、水道施設の耐震性能は水道施設の重要度と対象地震動の強さとの相互関係によって規定されている。サイホンは、導水施設であり、また基幹水路に用いられている場合には末端事業体への用水供給にも影響することから、重要度の高い水道指針のランク A1 構造物といえる。また、レベル 2 地震動は、同指針において「当該施設の設置地点において発生すると想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの」として規定されており、ランク A1 構造物とレベル 2 地震動の関係より耐震性能 2「地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能」を満足する必要がある。

サイホンは、縦断方向に屈曲部があり、暗渠、共同溝及びシールドトンネルと同様に、そのような箇所では大きな断面力が生じやすい。水道指針において縦断方向の耐震設計法は、原則として静的な応答変位法を用いることとされているが、縦断方向に沿って地表面や地層構成が著しく変化する場合には、動的解析法が推奨されている。本研究ではサイホンの構造上の特徴を踏まえて耐震性能照査は動的解析法で検討する。サイホンと類似構造物である暗渠、共同溝及びシールドトンネルの照査基準に基づき、本体構造、継手構造において動的解析による構造部材の発生曲げモーメント及び発生せん断力に対する耐力照査をサイホンの耐震性能照査項目とする。耐震性能照査は、動的解析で発生したせん断及び曲げに対して、式(1)に基づいて行う。

$$\gamma_i \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad (1)$$

ここに、 γ_i ：構造物係数、 S_d ：照査用応答値、 R_d ：照

査用限界値

また、今後の水需要を踏まえると、多くのサイホンが新設されることは考えられず、既存構造物の維持管理が主となる。サイホンは地中に埋設され、常時通水されていることから点検や補修・補強が難しい。耐震性能照査をする際には、供用期間に応じて劣化の影響は少なからずあると考えられるので、既存サイホンについては安全係数でこれに対応する。具体的には、設計断面耐力算定の際の部材係数の値を、コンクリート標準示方書⁵⁾で示されている範囲の中で最大とすることで、安全側の照査となるように設定する。

3. サイホンのパラメータ解析

(1) 解析ケース

複数あるサイホンの中から効率よくサイホンの構造上の特徴を捉まえて解析ケースを設定するため、水資源機構の香川用水のサイホンを参考にして設定した。香川用水の水資源機構管理区間 47km には、サイホンが 44 箇所、11km ある。それらは全てほぼ同時期に施工されているが、延長が 30m から 2.4km と断面も構造形式も様々である。これらのうち、縦断方向の応答特性を考慮して、解析ケースには表-1 に示す通り、断面形状、勾配、中央部の形状、盛土の 4 つの条件を変化させた全 24 ケースを設定した。傾斜部の勾配については、文献⁶⁾において「傾斜角度は 15°以下を目標とし、25°を限度とする」とされていることから、同表の通り設定した。断面形状については、箱型と円形の 2 種類について検討する。モデル化領域の模式図を図-2 に示す。全ケースにおいて、サイホン及び地盤の構造は左右対称とし、中央の形状が曲管の場合は解析対象のモデル幅が 90m、中央の形状が平坦の場合は 100m としている。両ケースとも地盤深さは 30m に設定した。

(2) 解析手法

サイホンの縦断方向の応答に着目し、平面ひずみ状態を仮定し、解析次元を 2 次元として扱う。2 次元動的有

表-1 解析ケース

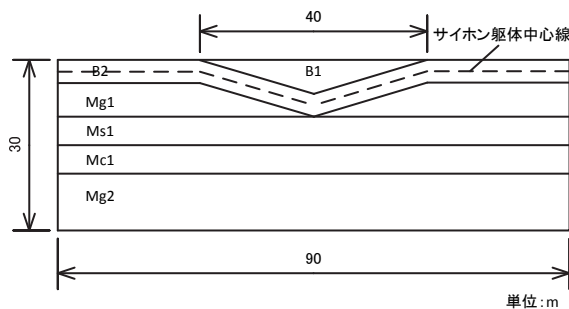
Case	断面	勾配	中央形状	盛土層	Case	断面	勾配	中央形状	盛土層
1	箱型	25°	曲管	B1-1	13	円形	25°	曲管	B1-1
2	箱型	15°	曲管	B1-1	14	円形	15°	曲管	B1-1
3	箱型	5°	曲管	B1-1	15	円形	5°	曲管	B1-1
4	箱型	25°	平坦	B1-1	16	円形	25°	平坦	B1-1
5	箱型	15°	平坦	B1-1	17	円形	15°	平坦	B1-1
6	箱型	5°	平坦	B1-1	18	円形	5°	平坦	B1-1
7	箱型	25°	曲管	B1-2	19	円形	25°	曲管	B1-2
8	箱型	15°	曲管	B1-2	20	円形	15°	曲管	B1-2
9	箱型	5°	曲管	B1-2	21	円形	5°	曲管	B1-2
10	箱型	25°	平坦	B1-2	22	円形	25°	平坦	B1-2
11	箱型	15°	平坦	B1-2	23	円形	15°	平坦	B1-2
12	箱型	5°	平坦	B1-2	24	円形	5°	平坦	B1-2

限要素解析には汎用ソフトである解析プログラム Soil Plus Dynamic⁷⁾を使用し、地盤のせん断ひずみが 10^2 程度であることに留意して、自重解析結果を初期状態とした等価線形解析による検討を行う。モデル化領域はサイホンの全区間を対象とした。側方境界には、エネルギー伝達境界、底面境界には鉛直固定境界を設定した。

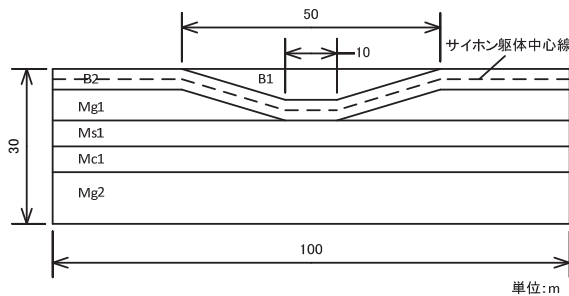
(3) 地盤及び構造物のモデル化

本研究では、パラメータ解析を実施する上で、香川用水のサイホンを参考に地盤および構造物のモデル化を行った。表-2 に設定した地盤の物理定数を示す。これらは現地の PS 検層と標準貫入試験の結果より得られたものである。

地盤は成層構造の簡易な地盤モデルとし、Mg2, Mcl, Ms1 層の地盤の層厚は一定で、盛土層 B1, B2 および、Mgl 層の地盤の層厚はサイホンの傾斜部の勾配に応じて変更している。また、サイホン上部の盛土層の剛性による影響についても検討するために、盛土層 B1 に関しては物性値を 2 ケース用意した。



(a) 中央曲管



(b) 中央平坦

図-2 モデル化領域模式図

表-2 地盤の物理定数

地質・岩盤区分	層厚 (m)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	初期せん断剛性係数 G_0 (MN/m ²)	せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν
B1-1	1.8~9	19.6	28.37	119.1	0.451
B1-2	1.8~9	19.6	115.2	240	0.451
B2	4	15.7	20.38	112.8	0.458
Mgl	1.8~9	19.6	319.7	400	0.455
Ms1	2~9.2	20.1	597.5	540	0.449
Mcl	5	20.1	597.5	540	0.449
Mg2	10	21.1	662.5	555	0.453

本研究では等価線形解析に用いる $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係は、文献⁸⁾にまとめられている砂・砂礫・粘土の中央値より図-3 に示すように設定した。

サイホンの材料は鉄筋コンクリートとし、解析に用いる物理定数は道路橋示方書⁹⁾より設定した。また、箱形、円形それぞれのサイホンの断面形状は図-4 に示す通りで口径が同程度となっている。以上のことより、構造諸元は表-3 に示す通りである。構造物の部材の力学モデルにおいて、骨格曲線は、原点と部材ひび割れ発生点、部材降伏点、最大耐荷力点を直線で結んだトリリニアモデルとし、履歴特性は修正武田型モデルを用いた。

地盤は平面ひずみ要素、構造物は躯体中心線においては要素にてモデル化した。また、解析モデルにおいて、地盤と構造物の間の付着力は十分に高くないため、地盤とサイホンの間に滑りや剥離現象が生じる可能性がある。そこで、サイホンと地盤間に 2 重節点を設け、図-5 に示すようにジョイント要素で節点間を結合させることで不連続性を考慮した。

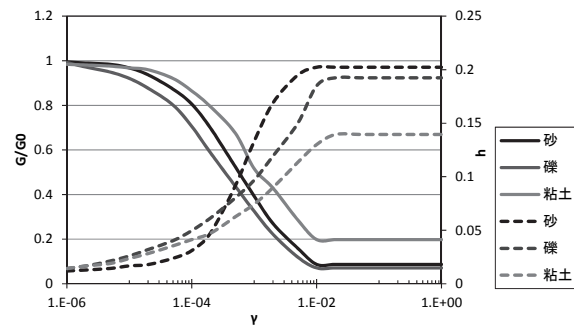
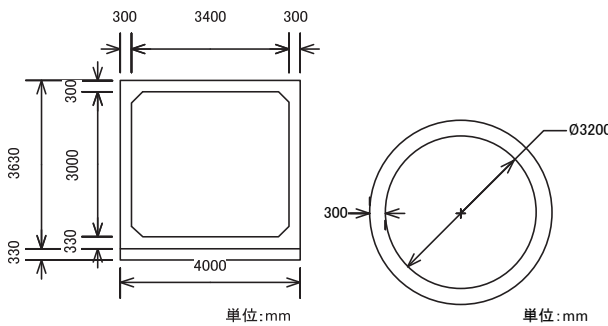


図-3 地盤各層に採用したひずみ依存性



(a) 箱形

(b) 円形

図-4 サイホンの断面形状

表-3 サイホンの物理定数

断面形状	断面積 (m ²)	断面二次モーメント	
		強軸回り(m ⁴)	弱軸回り(m ⁴)
箱型	5.64	11.3	12.1
円形	3.29	5.09	5.09
単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング率 (kN/m ²)	ポアソン比 ν	
24.5	2.35×10^7	0.167	

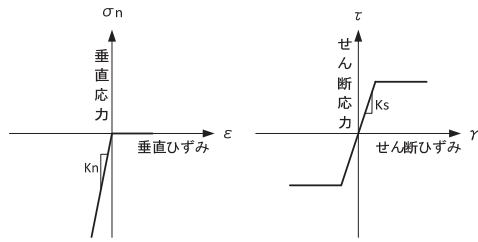
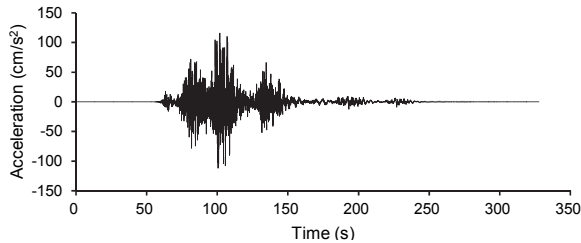
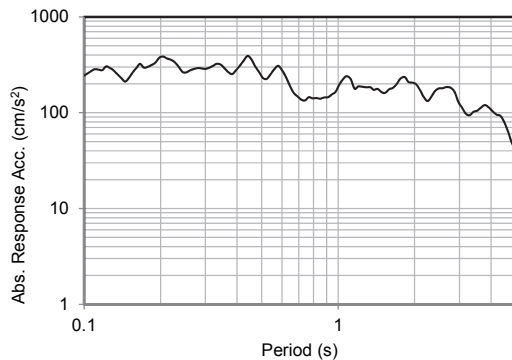


図-5 ジョイント要素の構成関係¹⁰⁾



(a) 時刻歴加速度波形



(b) 加速度応答スペクトル

図-6 Aサイホン入力地震動

(4) 入力地震動

本研究では、内閣府¹¹⁾が公表している工学的基盤 ($V_s=350\sim700\text{m/s}$) における南海トラフ巨大地震の想定地震動（基本ケース）のうち、表-2 の地盤近傍地点におけるものを、入力地震動として用いることとする。図-6 に入力地震動の時刻歴加速度波形及び、加速度応答スペクトルを示す。最大加速度は 115.7Gal である。地盤のモデル化の際には、工学的基盤層を下端として、そこから上昇波として与える。

(5) 解析結果

a) 応答の概要

本解析では、構造物と地盤との間に滑りや剥離を表現したジョイント要素を入れていたが、24 ケース全てにおいて滑りや剥離に至ることはなかった。入力地震動のレベルが小さいこともあるが、構造物が硬質な基盤に岩着されていることも全体的な応答が小さくなる特性があったと考えられる。図-7 に各 Case のせん断力および曲げの照査判定値を示す。照査判定値がせん断力の場合に

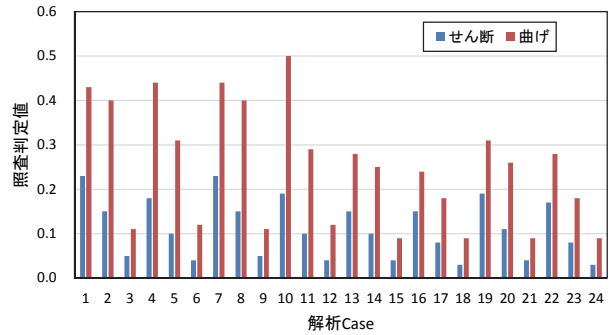


図-7 各 Case の照査判定値

は 0.22 以下、曲げモーメントの場合には 0.5 以下となり、全てのケースにおいて、躯体に生じるせん断力及び曲げモーメントは耐力値を下回る結果となった。以下に、断面力毎に応答特性を分析する。

b) せん断力

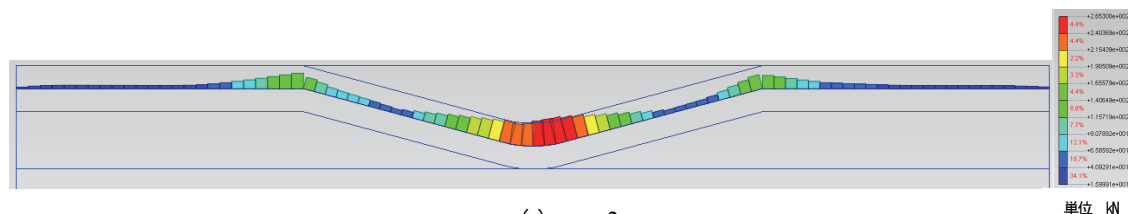
せん断力の照査判定値をみると、解析 case の 3 ケースごとに値が段階的に小さくなっており、水路勾配によって応答が敏感に表れていることがわかる。最大せん断力分布の一例を図-8 に示す。各ケースにおいて、最大せん断力の分布形状はサイホン中央の谷部もしくは左右の屈曲部で大きくなる似た応答を示すことが確認できた。

図-8(a) に示す中央曲管のケースでは、せん断力は曲管部で最大値となる。一方、図-8(b) に示す中央平坦のケースでは、平坦部でも生じるせん断力は大きい。また、サイホン中央部の形状に関係なく、傾斜部の勾配が大きくなるほど、生じるせん断力も大きくなり、傾斜部の勾配及び中央部の形状が、躯体に生じるせん断力に影響を与えることが確認できた。一方で、断面形状では箱形の方が円形よりも大きな応答を示すことがわかった。サイホン上部の盛土では硬軟地盤で比較をしたが、サイホン自体の応答にはそれほど影響をしていないこともわかった。

c) 曲げモーメント

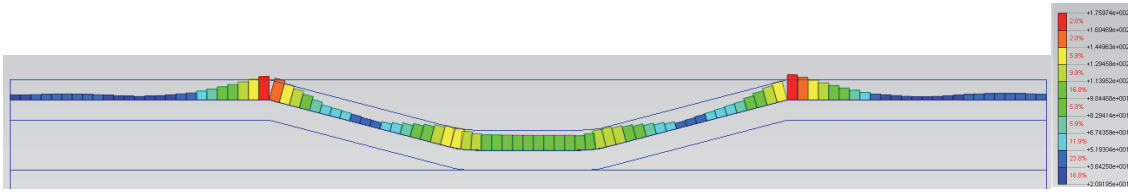
照査判定値はせん断力に比べて曲げモーメントの方が倍程度大きな値となり、サイホン縦断方向においては、耐震上曲げに対して不利となることがわかった。また、せん断力と同様に解析 case の 3 ケースごとに値が段階的に小さくなっており、サイホンの水路勾配に応答が強く影響され、水路勾配が大きい程、せん断及び曲げに対する照査判定値も大きくなることが確認できた。

最大曲げモーメント分布の一例を図-9 に示す。各ケースにおいて、せん断力の場合と異なり、生じる曲げモーメントは中央部の形状に依らず、傾斜部で最大値となり、屈曲部、中央部では小さくなる分布を示すことが確



(a) case2

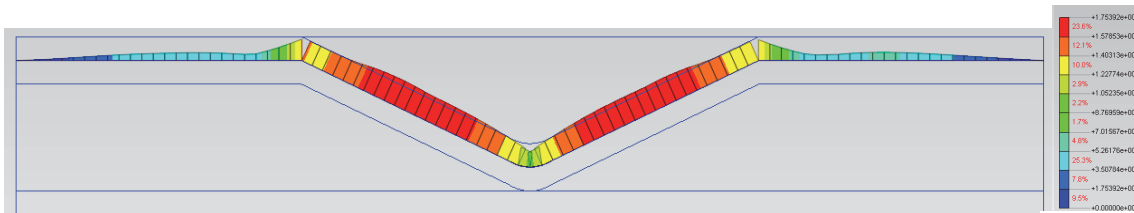
単位 kN



(b) case5

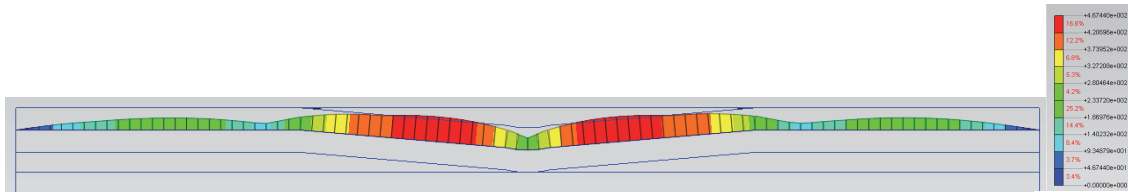
単位 kN

図-8 最大せん断力



(a) case1

単位 kNm



(b) case3

単位 kNm

図-9 最大曲げモーメント

認できた。

断面形状については、円形よりも箱型の方が生じる曲げモーメントは大きくなり、箱型の方が変形のしにくさを表す断面2次モーメントが大きいことが原因として考えられる。また、サイホン上部の盛土の影響は他のパラメータほど影響をしていないこともわかった。

以上のことより、躯体に生じる曲げモーメントについては、傾斜部の勾配及び断面形状に影響を受けると言える。

4. 優先順位決定指標の提案

(1) 検討方法

パラメータ解析によってサイホン縦断方向においては、せん断よりも曲げの方が耐震上不利となることが確認された。したがって、曲げに対する照査判定値を、優先順位を決定する指標として用いるために、パラメータ解析で検討した項目を用いて、式(2)に示す実験式を作成した。

$$\alpha = k \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \quad (2)$$

ここに、 α : 照査判定値、 k , C_1 , C_2 , C_3 , C_4 : 入力地震動に関わる係数、断面、勾配、中央の形状、盛土剛性に関する係数

本検討において、断面、勾配、中央の形状、盛土剛性はそれぞれ独立の関数であるので、円形・勾配 5°・中央平坦・盛土剛性高を基準属性とし、回帰分析ではダミー変数として与え、対象属性の組み合わせによる照査判定値を目的変数として、対数場での数量化理論第 I 類による解析を行った。

(2) 回帰分析結果

表-4 に回帰分析によって得られた各係数を、表-5 にパラメータ解析による曲げの照査判定値と式(2)及び表-4 の係数より求めた推定値の比較を示す。なお、本回帰分析における決定係数 R^2 は 0.966 であった。表-5 より、判定値と推定値はほぼ一致しており、回帰式の当てはまりが良かった。各係数について見ると、断面形状は箱型

表-4 回帰分析結果

k	断面	C_1	勾配	C_2
0.08	箱型	1.50	5°	1.00
	円形	1.00	15°	2.68
			25°	3.47
	形状	C_3	盛土剛性	C_4
	中央曲管	1.11	低	0.97
	中央平坦	1.00	高	1.00

表-5 照査判定値と予測式より求めた推定値の比較

Case	判定値	推定値	Case	判定値	推定値
1	0.43	0.45	13	0.28	0.30
2	0.40	0.35	14	0.25	0.23
3	0.11	0.13	15	0.09	0.09
4	0.44	0.40	16	0.24	0.27
5	0.31	0.31	17	0.18	0.21
6	0.12	0.12	18	0.09	0.08
7	0.44	0.46	19	0.31	0.31
8	0.40	0.36	20	0.26	0.24
9	0.11	0.13	21	0.09	0.09
10	0.50	0.42	22	0.28	0.28
11	0.29	0.32	23	0.18	0.21
12	0.12	0.12	24	0.09	0.08

表-6 決定指標と優先順位

判定	A	B	C
決定指標	0.35以上	0.15～0.35	0.15未満

の方が、また、傾斜部の勾配は大きい方が推定値を大きくする傾向にある。

(3) 提案する優先順位決定指標

回帰分析結果をもとに、既存サイホンの耐震性能照査の優先順位を決定する指標（以下、決定指標）の算出式を提案する。求められた算出式により、個々のサイホンについて、決定指標を算定し優先順位の判定を行う。

ここで、各係数の値は小数第一位までとし、盛土剛性については、係数の値が同じになるので省略する。勾配については、勾配の数値が大きくなるにつれ、係数も大きくなっていることを考慮して、0°～10°未満については5°の場合の係数、10°～20°未満については15°の場合の係数、20°以上については、25°の場合の係数を用いることとする。以上のことを踏まえて、決定指標の算出式は以下の通りとなる。

$$a = k \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (3)$$

ここに、 a ：決定指標、 k ：0.08（参考値）、 C_1 ：断面に基づく係数で、箱型：1.5、円形：1.0、 C_2 ：勾配に基づく係数で、0°～10°未満：1.0、10°～20°未満：2.7、20°以上：3.5、 C_3 ：形状に基づく係数で、中央曲管：1.1、中央平坦：1.0

なお、 k の値については、入力する地震動の値によっ

て異なる値を取るが、ここでは参考値としている。

式(3)より、決定指標は0.08～0.46の間の数値となり、全係数の組み合わせの結果を考慮して、表-6に示す通り、A、B、Cの3段階に分けて判定する。ここで、同表の判定について、A：優先順位の高い構造物、B：検討が必要であると思われるが、Aに比べると優先順位は低い構造物、C：優先順位の低い構造物、とする。

以上、サイホンの構造形式により、決定指標を算出し、表-6に基づく判定を実施することにより、耐震性能照査の優先順位を決定する。

5. 優先順位決定指標の適用

(1) 詳細照査との精度比較

著者らは、本研究で示したパラメータ解析とは別に2つのサイホンを対象に詳細にモデル化を行い、応答計算を行っている¹²⁾。この内、Aサイホンは水平長39.00m、実管長41.57mの箱形断面で、勾配は17.1°と28.1°で非対称の谷形状になっている。中央部の形状は曲管で、表層まで盛土になっている。もう一方のBサイホンは、水平長80.00m、実管長84.03mで、円形断面、勾配は19.3°と27.3°で中央部の形状は平坦になっている。土被りは浅く、地表は谷地形をしている。Aサイホンの地盤条件と入力地震動は、パラメータ解析に用いたものと同じで、Bサイホンは現地の条件で解析している。

これらの耐震性能の照査結果と提案する決定指標との結果を比較することで、既存サイホンへの適用性について検討する。表-7に結果の比較を示す。なお、決定指標はAサイホンについては、箱型・勾配25°・中央曲管、Bサイホンについては、円形・勾配25°・中央平坦として算出した。同表より、Aサイホンは判定A、Bサイホンは判定Bとなった。これより、2つのサイホンについては、Aサイホンの方が耐震性能照査を行う優先順位が高いといえる。簡易照査による決定指標と動的解析の照査判定値を比較すると、Aサイホンは決定指標が照査判定値を下回り、Bサイホンは決定指標が照査判定値を上回る結果となった。

両者が異なる値となった要因の一つとして、算出式を求めた回帰分析の対象であるパラメータ解析において、構造的特徴に着目するために、地盤を簡易なモデルで表現しており、地盤による影響が詳細に考慮できていないことが挙げられる。加えて、両サイホンとも、傾斜部の最大勾配は28°程度で、パラメトリックスタディで検討した勾配よりも大きく、生じる曲げモーメントが大きくなったことも考えられる。また、パラメータ解析では、Aサイホン近傍点における想定地震動を入力地震動としており、Bサイホンの結果については、入力地震動の違

表-7 決定指標と詳細な耐震性能照査との比較

	動的解析		決定指標	判定結果
	せん断	曲げ		
Aサイホン	0.19	0.69	0.45	A
Bサイホン	0.088	0.17	0.27	B

いによる影響も考えられる。

(2) 複数サイホンへの適用

香川用水の全 44 箇所の既存サイホンに耐震性能照査のための優先順位決定指標を適用した。なお、決定指標算出の際において、各サイホンの断面形状を資料から確認できなかったため、安全側となるように形状に基づく係数は $C_3=1.1$ とした。香川用水全 44 サイホンのうち、A 判定が 14 箇所、B 判定が 27 箇所、C 判定が 3 箇所という結果に選別することができた。A 判定となったサイホンの特徴として、水路勾配が大きいサイホンが 20° を超えるサイホンが多い。このうち、A 判定となったサイホンから優先して、詳細な耐震性能照査を実施することが、本研究で提案する既存サイホンの性能照査の手順となる。

6. まとめ

本研究では、耐震検討が十分にされていないサイホンに着目し、既存サイホンの耐震性能照査の第一段階として、優先順位決定指標による判定を行い、性能照査の優先順位が高い構造物から順に動的解析による詳細な検討を実施することを提案する。本研究による主要な結論は以下の通りである。

- (1) サイホン縦断方向においては、せん断よりも曲げに対して耐震上厳しい条件となっており、また、躯体に生じる曲げモーメントは、サイホン傾斜部で大きな応答を示す。
- (2) サイホンの傾斜部の勾配が大きくなるほど躯体に生じるせん断力及び曲げモーメントは、大きくなることが確認できた。
- (3) 本研究で求められた手法を、既存サイホンに適用したところ、構造物を優先順位の判定ごとに選別することができた。

今後の課題として、サイホンには構造目地が存在し、より詳細地震時挙動を再現するためにも、その影響を考慮する必要がある。また、優先順位決定指標の算出においては、レベル 2 地震動の一つとして入力地震動を用いて検討を行ったが、今回解析に用いた入力地震動の加速振幅の規模が小さく、地盤のひずみも非線形化領域に達していない。地盤が非線形挙動を示すような規模の地震動を用いて検討を行うと、回帰分析の結果にも影響を与えと考えられ、決定指標の適用には注意が必要である。今後は異なる規模の地震動や地盤条件について検討し、決定指標の汎用性の確認や精度の向上を図る必要がある。

謝辞：本研究の遂行にあたり、（独）水資源機構香川用水管理所には貴重なデータを提供して頂いた。ここに記して謝礼申し上げる。

参考文献

- (1) （社）農業村工学会：農業村工学ハンドブック改訂七版，2010。
- (2) （社）土木学会：続・実務に役立つ耐震設計入門（実務編），2014。
- (3) 渡辺和明，小池真史，立石章，高久雅喜，本宮栄二，道廣英司：既設沈埋トンネルの耐震性能に関する検討，地震工学研究発表会 報告集 Vol28, 193, 2005。
- (4) （社）日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版，2009。
- (5) （社）土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕2012 年制定，2013。
- (6) （独）水資源機構：サイホン設計図面，内部資料，2016。
- (7) 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社：Soil Plus Dynamic。
- (8) （社）土質工学会：わかりやすい土質力学原論〔第 1 回改訂版〕，1992。
- (9) （社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012。
- (10) （社）土木学会：動的解析と耐震設計 第 2 巻 動的解析の方法，1989。
- (11) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会 URL：http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data_teikyoku.html（2016 年 11 月 1 日閲覧）
- (12) 平山智章，鎌田泰子，有野治：動的解析に基づく既存サイホン縦断方向の耐震性能照査，平成 29 年度土木学会全国大会，2017

A PROPOSAL FOR PRIORITY INDEX OF EVALUATION FOR SEISMIC PERFORMANCE OF SIPHON PIPES

Tomoaki HIRAYAMA, Yasuko KUWATA and Osamu ARINO

Siphon pipe is a crucial structure as a part of trunk line for water supply. Since the channel slope is high, the seismic evaluation for the direction of crossing as well as for the direction of running is necessary. However, most of the existing siphon pipes was constructed before establishing of calculation method of seismic design. The studies on seismic performance of siphon pipe have been done few. In this study the check method of seismic performance for siphon pipe was set and the problems on seismic performance made clear based on this check method throughout the parametric studies of dynamic analysis. In addition, the priority index on selecting the siphon among several ones was constructed as the first stage of the seismic performance check. As the results, the check to the bending moment is considered as an indicator of determining the priority on seismic evaluation. It was shown that the channel slopes affected seismic performance in the direction of running.