

配水機能性に着目した農業水利施設の地震対策

篠塚研究所 正会員 ○静間俊郎 正会員 鮫島貴裕
農研機構農村工学研究所 正会員 浅野 勇

1. はじめに

農業水利施設は、頭首工、トンネル、開水路、管水路、排水工、揚水機場などの諸施設が有機的に連結したシステムとして構成され、受益地に配水する役割を果たしている。一方で、現状の耐震設計指針や諸基準は、施設個々の耐震性能を規定するものであり、施設全体の要求機能の確保を目的としている訳ではない。よって、要求機能の確保という観点では、現行の耐震基準を満足しても耐震性能が不十分となる施設が存在することもある。このような多種多様な施設で構成される農業水利施設に対し、地震対策箇所や優先順位などの検討をする際には、要求機能をシステムとして捉え、システムを構成する施設と機能を関連付けると共に、発災時における機能確保や早期復旧を目標に、構成施設の耐震性能を設定するのが合理的である。このような検討には、システム信頼性手法が有用である。

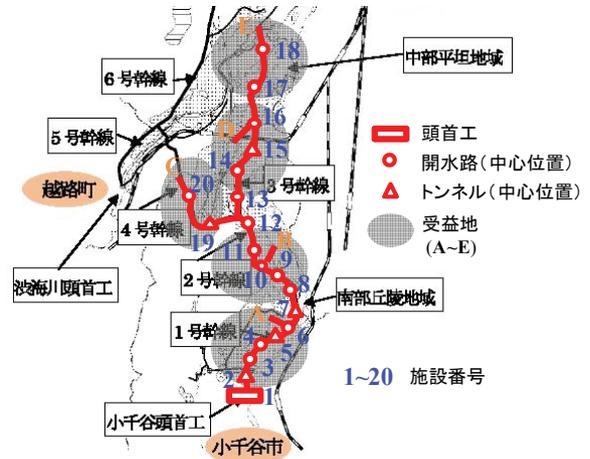


図-1 評価対象

本報では、システム信頼性手法に基づき、受益地への配水機能性に着目した農業水利施設のプロトタイプによる地震対策例を示す。

2. 評価対象およびシステムモデル

新潟県小千谷市信濃川流域にある信濃川左岸地区の小千谷頭首工～1号幹線～2号幹線～3号および4号幹線（一部）の受益地（A～E）への配水機能を評価対象とし、図-1に示す。対象範囲には、頭首工、トンネル、開水路、排水工、揚水機場などの施設が含まれるが、本評価では頭首工、トンネル、開水路のみを対象とし、対象施設全体を頭首工構築物とトンネル5区間、開水路14区間に分割してシステムモデルを構築した。なお、図中に示す数字は分割した施設番号を表し、例えば、施設1は小千谷頭首工、施設7はトンネル区間、施設10は開水路区間である。

図-2は、配水機能のシステムモデルであり、図中の矩形ブロックは、分割した1頭首工と5トンネル区間、14開水路区間、さらにA～Eの5箇所の受益地を示している。矩形ブロック上にはこれらの最大取水量および通水量（以下、性能）を併記した。ここで、対象施設全体の性能の確率変数 R_{sys} は、文献1)を参照すると下式で示される。

$$R_{sys} = \min(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, \min(R_7, R_8, R_9, R_{10}), \min(R_{11}, R_{12}), \min(R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16}), (R_D + \min(R_{17}, R_{18}, R_E))) + \min(R_{19}, R_{20}, R_C) + R_B + R_A \tag{1}$$

ここに、 $R_1 \sim R_{18}$, $R_A \sim R_E$ は各施設性能の確率変数である。

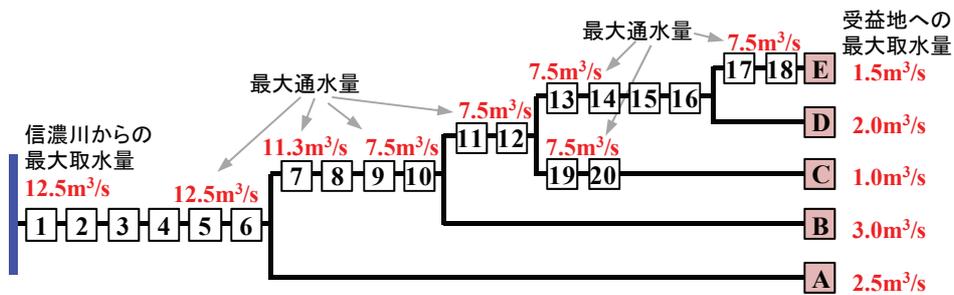


図-2 システムモデル

Key words: システム信頼性, 要求機能, 復旧曲線, ボトルネック指標, 目標復旧期間

連絡先: 東京都新宿区西新宿 4 丁目 5-1 幸伸ビル 3F TEL: 03-5351-3781 FAX: 03-5351-3783

3. システム構成施設のフラジリティ

各施設性能の確率関数は Fragility Curve (以下, FC) により求められる。頭首工構築物, トンネル区間, 開水路区間の損傷形態に応じた FC の耐力中央値を表-1 に示す。同表の耐力中央値の地震動指標は地表面最大加速度 (以下, PGA) である。なお, FC は対数正規分布の累積関数に近似し, 耐力の不確実性 (対数標準偏差) は 0.3 に設定する。これに地震動の不確実性として 0.4 を付与し, これらを合わせた複合偏差は 0.5 となる。また, A~E の受益地 (水路末端施設) の損傷は考慮しない。

4. 配水機能性に着目した施設の地震対策

十日町断層帯西部に起因する地震²⁾ (以下, 十日町断層地震) を検討対象とし, 機能性評価を行った。なお, 複数施設損傷時の復旧作業は, 同時に行うとの前提に基づいている。

各施設敷地の十日町断層地震による PGA は, 安中の距離減衰式および表層地盤の増幅率³⁾より, 表-2 に示すとおりとなる。

図-3 には, 縦軸を各受益地での総取水量, 横軸を地震発生からの経過時間 (復旧期間) とした地震時の復旧曲線を示す。復旧曲線の縦軸の最大値は, 5 箇所の受益地の取水量合計である 10.0m³/s となる。同図より, 地震発生後約 12 日で全体取水量の 1/4(2.5m³/s), 約 17 日で半分程度(5.5m³/s), 最終的に 20 日程度で完全復旧(10.0m³/s)することが分かる。

ここで, 受益地全体の取水量が 5.0m³/s 以上となるまでの復旧期間を 10 日と設定し, この目標復旧期間を目指した施設の地震対策を考える。この際, 要対策施設を効率的に抽出するため, ボトルネック指標 (以下, BI)⁴⁾を参照する。BI は, 全体機能への影響度と期待復旧期間の積で表され, 各施設の損傷要因毎に算出される。表-3 に BI (上位 10) を示す。なお, 各施設の BI の影響度は, 当該施設損傷時における損失水量の比率とした。ここで, 地震対策対象を表-3 の BI 上位 5 番目までの施設 (施設 1,3,10,8,9 の 5 施設) とする。これら施設について表-1 の耐力中央値が 50%増となるような耐震補強を想定し, 復旧期間を再評価した (図-4)。同図より, 取水量が 5.0m³/s 以上という要求機能を確保するまでの期間は 10 日以内となっており, 設定した目標を満足していることが分かる。

5. まとめ

受益地への配水機能の復旧期間に着目した農業水利施設の地震対策を例示した。システム信頼性手法により, 施設機能の耐震性能を復旧期間という形で定量的に把握でき, 要求機能・目標期間に応じた地震対策を立案することが可能となる。

参考文献 1)中村他: 損傷相関を考慮した地震時システム性能評価に関する研究, 建築学会構造系論文集, 第 661 号, 2011.,2)宇賀田: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価, 建築学会構造系論文集, 第 541 号, 2001.,3)内山他: 地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率, 建築学会構造系論文集, 第 571 号, 2003.,4)中村他: BCP への貢献を目的とした建物の機能確保に関する研究, 建築学会総合論文誌, 第 7 号, 2009.

表-1 各施設の耐力中央値と復旧期間

施設名	該当施設番号	損傷要因	損傷形態	耐力中央値 (cm/s ²)	復旧期間 (日)
頭首工	1	取水口 建屋 門柱被害 ゲート操作 設備被害	軽微	410	5
			大破	1330	20
			倒壊	1790	180
			軽微	440	1
			大破	660	5
トンネル	2,5,7,15	トンネル 躯体 被害	軽微	740	5
			大破	1170	30
			崩壊	2500	240
開水路 (フルーム)	3,4,6	開水路 側壁被害	軽微	570	3
			崩壊	1140	60
開水路(コンク リートライニング)	上記 以外	開水路 側壁被害	軽微	380	2
			崩壊	760	30

表-2 各施設敷地の地表面最大加速度

施設番号	PGA(cm/s ²)	施設番号	PGA(cm/s ²)	施設番号	PGA(cm/s ²)
1	556.6	8	442.2	15	427.9
2	550.7	9	435.9	16	419.7
3	541.9	10	485.2	17	408.6
4	474.3	11	474.5	18	394.9
5	467.5	12	462.8	19	471.1
6	459.0	13	449.7	20	388.0
7	504.7	14	436.2		

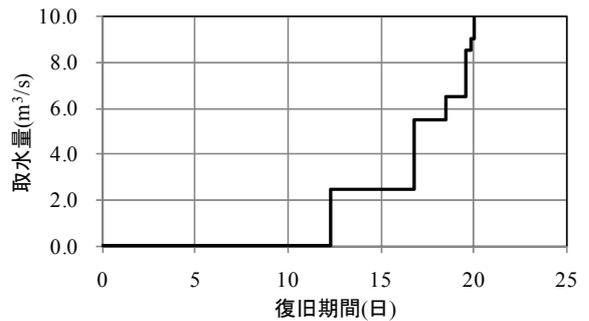


図-3 現状の復旧曲線

表-3 ボトルネック指標(上位10)

施設番号	施設名	損失水量 (m ³ /s)	影響度	期待復旧期間	BI
1	取水口建屋	10.0	1.00	5.82	5.82
3	開水路(フルーム)	10.0	1.00	5.28	5.28
10	開水路(コンクリートライニング)	7.5	0.75	6.55	4.91
8	開水路(フルーム)	7.5	0.75	5.14	3.86
9	開水路(コンクリートライニング)	7.5	0.75	4.94	3.71
4	開水路(フルーム)	10.0	1.00	3.33	3.33
2	トンネル	10.0	1.00	3.29	3.29
6	開水路(フルーム)	10.0	1.00	2.96	2.96
11	開水路(コンクリートライニング)	4.5	0.45	6.19	2.79
12	開水路(コンクリートライニング)	4.5	0.45	5.80	2.61

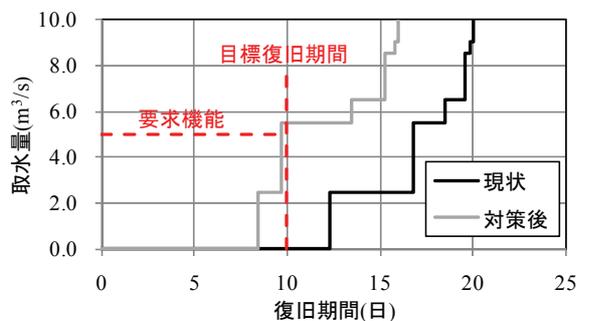


図-4 対策後の復旧曲線