

東北地方太平洋沖地震による用排水機場の被災傾向分析

The Tendency Analysis of Pump Stations Struck by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

竹中 一行[†] 畠中 哲也^{††} 山口 俊夫^{†††}
 (TAKENAKA Kazuyuki) (HATANAKA Tetsuya) (YAMAGUCHI Toshio)

I. はじめに

未曾有の人的および物的被害を起こした東北地方太平洋沖地震について, 被災資料を収集・分析することは, 今後想定される大規模地震の想定被害, 耐震計画および耐震設計に大いに役立つ。このようなことから, (一財)日本水土総合研究所(以下,「当研究所」という)では, 国, 地方行政, 土地改良区, 土地改良区連合などの協力のもと, 現時点の分析また耐震に関する調査研究が進んだ将来の分析のため, 被災した2,619カ所の農業施設(道路, 堤防を除く)の情報収集(被災施設, 位置, 被災状況写真など)と蓄積を行っている。

このうち, 多くが津波被害として整理されている用排水機場について地震動での被害状況の分析結果について報告する。

II. 収集資料(データ)の整理

1. 地震動の特性

地震動は一般的に震度で表現されるが, 地震動が大きくなればなるほど, 各震度階級の強さ(最大加速度(gal))の幅が大きくなり(表-1), 精緻な分析が困難となったため, SI (Spectrum Intensity) 値を用いた。

表-1 震度と SI 値の関係

震度階級	SI 値	(参考) 最大加速度 (gal)
震度 4	4~10 程度	40~110 程度
震度 5 弱	11~20 程度	110~240 程度
震度 5 強	21~40 程度	240~520 程度
震度 6 弱	41~70 程度	520~830 程度
震度 6 強	71~99 程度	830~1,500 程度
震度 7		1,500 程度~

各機場の SI 値は, 計 841 地点の観測点で得られた東北地方太平洋沖地震の観測データをもとに国土防災研究室で作成した「東北地方太平洋沖地震の地震動分布 (Ver.3.0)」を使用し, 逆距離加重内挿により算出することとした(図-1)。

[†](一財)日本水土総合研究所(現農林水産省農村振興局)
^{††}(一財)日本水土総合研究所, ^{†††}内外エンジニアリング(株)

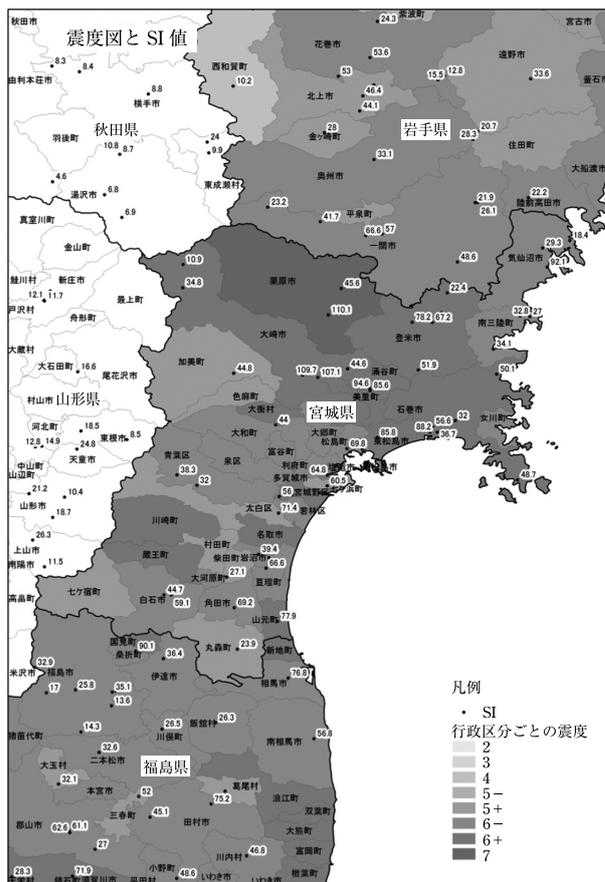


図-1 行政区分ごとの震度と SI 値

地震動による構造物への影響を表現する方法として速度応答スペクトルがある。構造物の剛性が高い場合, その主な周期は 0.1~2.5 秒間にあり, この間のスペクトル積分値(面積値)をもって地震動の破壊力を表す一つの目安とすることが可能であり, この値をスペクトル強度=SI 値と呼んでいる。つまり SI 値とは地震動が構造物に与える破壊力を知る指標である。よって SI 値を用いることにより, 加速度 (gal) のみで判断する従来の手法では困難であった実際の構造物の被害を把握することが可能となる。

SI 値と震度 4 以上で被災した機場の件数 (230) の関係は以下のとおりであり, 特に SI 値 36 また 52 を

ため池, 整備優先度, スクリーニング, 耐震性能, 数量化 II 類, 社会的影響度, 判定表

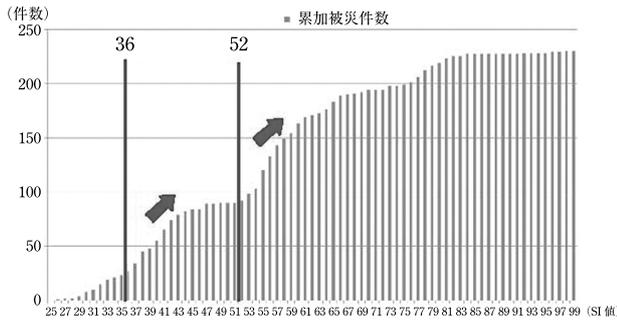


図-2 SI 値と累加被災件数

境に被災件数が急激に増加する傾向が明らかとなった(図-2)。

2. 対象機場

東北地方太平洋沖地震により被災した機場のうち、地震動が震度5弱以上かつ津波浸水区域外に位置する機場を対象とした。津波は、震災の被害要因の一つとして外せないものではあるが、地震動と異なるメカニズムであり、そのメカニズムは不明な点が多いことから、津波浸水区域にある機場を除外し、被災状況の分析精度の安定化を図ることとした。また、被災機場の建設諸元などを把握するため、当研究所の日本水土図鑑 GIS (以下、「水土図鑑」という) に登録されているものを対象とした。

水土図鑑に登録されている青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県に位置する機場は620あり、そのうち用水機場375、排水機場245である。これらを浸水区域範囲と重畳を行った結果、浸水区域外に位置する機場は524であった。さらに、このうち、被災した施設は46であった(表-2の()内の数字が被災施設数)。

表-2 水土図鑑の機場と震度、浸水などの区分

県名	機場数	震度4 または未記載	震度5弱以上	浸水区域内	浸水区域外
青森	61	43	18	0 (0)	18 (0)
岩手	27	0	27	0 (0)	27 (0)
宮城	157	0	157	33 (18)	124 (21)
福島	36	0	36	12 (4)	24 (2)
茨城	152	0	152	0 (0)	152 (16)
栃木	7	0	7	0 (0)	7 (0)
群馬	9	2	7	0 (0)	7 (0)
埼玉	42	2	40	0 (0)	40 (0)
千葉	126	1	125	0 (0)	125 (7)
不明	3	3 (3)	0	0 (0)	0 (0)
計	620	51 (3)	569	45 (22)	524 (46)

III. データ分析

1. 竣工年度と被害傾向

設計基準の改定など、機場関係施設の強度に関する事項を表-3、竣工年代別の被災割合を図-3、竣工年

度と累加被災件数を図-4に整理した。

これら図表から、昭和38~42、52~56、60~61年度の被災件数増加が把握できるが、竣工年度と被災件数、また、設計基準等の改定などとの関連性も特にみられない。概して、古い機場は条件の良い強固な地盤上に建設されている可能性があり、竣工年度と被災傾向とは単純に結びつかないと考えられる。

表-3 機場に関する基準等の改定

年度	改定などの内容
昭和24	コンクリート設計基準強度の上限値を初めて規定 (160 kgf/cm ²)
28	JIS規格に異形丸鋼が制定 (D10~D18)
31	コンクリート設計基準強度の改訂 (240 kgf/cm ²)
39	JIS G3112-1964で35、40、45 kgf/mm ² の棒鋼が規格化
42	コンクリート設計基準強度の改訂 (400 kgf/cm ²)
45	生コンプラントによるコンクリートの製造が普及
53	「プレストコンクリート標準示方書」制定 (500 kgf/cm ² に増加)
56	建築物の新耐震設計法の導入
57	「土地改良事業設計指針 耐震設計」作成 「土地改良事業計画設計基準 ポンプ場」制定
平成16	「土地改良施設耐震設計の手引き」作成
17	「土地改良事業計画設計基準設計「ポンプ場」」改定

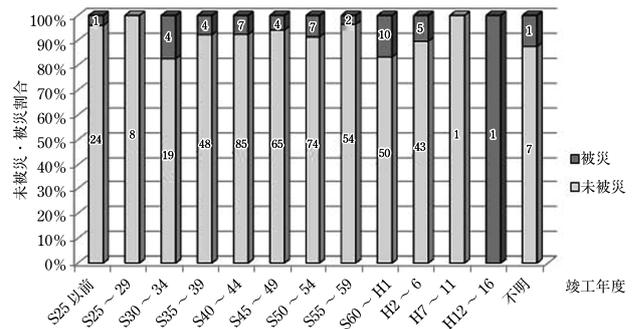


図-3 竣工年代別の未被災と被災の割合

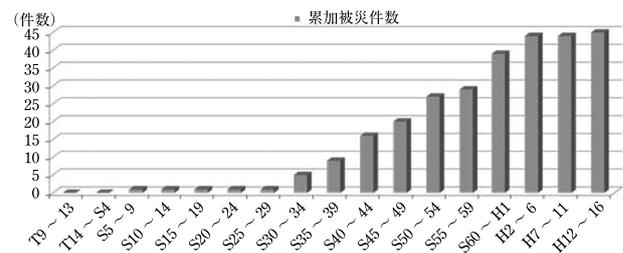


図-4 竣工年度と累加被災件数

2. 被害項目

機場の諸元、被災箇所などの情報、災害復旧事業補助計画概要書などより整理した施設の詳細な被災内容、地震関連データとして、震度、SI値、地形分類、表層地質、沈下量を地震被災基礎データベースとして作成し、被災内容の詳細については破損箇所に着目し表-4のとおり細分化した。

被災内容として最も多いのは場内舗装の破損であ

表-4 被害項目の整理

被害項目名	定義	代表例
ポンプの損傷	主ポンプ、主原動機および動力伝達装置	・沈下によるポンプ能力の低下 ・ポンプの軸心ズレ ・ポンプとカップリングにズレ ・ポンプ内に木片などが混入
電気設備類の破損	監視操作制御設備および電源設備	・操作盤破損 ・配電盤損傷 ・流量計基盤破損 ・受電設備損傷 ・2次抵抗損傷
その他設備の損傷	弁類、補機設備、その他附帯設備	・燃料配管浮遊 ・電磁流量計配管接続部損傷 ・パタフライ弁破損 ・水位計故障 ・燃料配管損傷 ・除塵機傾斜コンベアの傾き
可とう管などの損傷	可とう管などの損傷、変位	・可とう管損傷、ズレ
吸込管の損傷	吸込管の損傷	・吸水管フランジ目開き
吐出し管損傷	吐出し管損傷	・吐出管損傷
吐出樋管（樋門）または送水路損傷	吐出樋管（樋門）損傷（排水機場）、送水路損傷（用水機場）	・排水樋管沈下 ・吐出樋管の継手部損傷、ズレ ・排水樋管および排水樋門の基礎杭が破壊 ・排水樋管本体部と翼壁部にズレ
取水口の損傷	取水口の損傷	・取水口護岸損傷
基礎の変形	ポンプ、電気機器、その他機器の基礎部変形	・基礎の水平変形 ・ポンプ基礎損傷 ・冷却水および油タンク基礎損傷 ・電動機基礎破損
建屋の損傷	外壁など、建屋の損傷	・建屋の壁面亀裂 ・建屋たわみ ・上屋の屋根瓦損傷
場内舗装の破損	ポンプ建屋周囲の舗装	・場内 AS 舗装亀裂 ・管理用道路陥没
周辺の護岸破損	遊水池、調整池などポンプ場周辺の護岸	・遊水池の水路目地損傷 ・機場周囲のブロック積み破損 ・調整池の鋼矢板護岸の傾き
排水施設損傷	側溝など、場内雨水排水施設の損傷	・側溝損傷 ・雨水樋の隆起、沈下
附帯施設破損	ポンプ建屋周囲のフェンス、門扉、街灯などの損傷	・ゲート門柱損傷 ・街灯損傷 ・ネットフェンス損壊 ・ゴミ集積場沈下

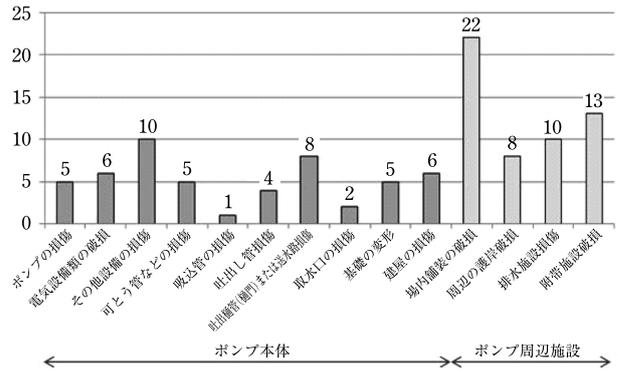


図-5 機場の破損箇所別被災件数

は、「可とう製継手を多く設け—中略—ポンプ室など固有周期の異なる構造物との接続部には可とう製継手を設けることが望ましい」とされ、機場と接続部に可とう継手が設置されはじめた。しかし、水槽が直接基礎で建屋が杭基礎のように支持地盤が異なるケースや液状化の可能性が高い地盤に設けた場合には、可とう管の偏芯量が許容値を超え損傷したと推測される。

- 昭和 60 年度以降に竣工した機場では、土地改良事業計画設計基準「ポンプ場」²⁾が道路橋示方書下部工編の制定を踏まえて昭和 57 年 12 月に改定されたものに基づき施工されている。この改定では、主に杭基礎の支持力算定方法について大幅な見直しが行われているが、同時に直接基礎においても砂地盤の液状化判定（グラフ）が明記された。これにより、設計施工された水槽類は直接基礎から（ポンプ場と同様に）杭基礎形式に移行されたケースが多いと考えられるため、可とう管の損傷が軽微になると推測される。

3. 竣工年代と破損箇所の関係

竣工年度と破損箇所の関係について分析した。分析は、①設計基準「ポンプ場」制定前（昭和 57 年度以前）、②①後から平成 17 年度までの同基準改定まで（平成 17 年度以前）、③平成 17 年度以降、に大別した区分ごとに破損箇所の傾向を確認した。

- 被災は 9 機場であり、SI 値は 33~78 と広範囲に分布、主たる損傷は埋設管で 7 カ所であった。同期間に竣工した機場は震度に関わらず埋設管の点検・補強が必要と推測される。
- 平成元年度竣工までは、SI 値 52 以上で 10 機場のうち 8 機場が被災しており、吐出樋管や水槽の目地部の破損が 7 カ所であった。SI 値 46 以上の地震発生が想定され、同期間に竣工した機場では目地部の点検・補修が必要と推測される。

また、平成元年度以降では、SI 値 52~66 で被災が多いのが特徴であるが、破損箇所は護岸、

り、次いでフェンスなどの附帯施設破損であった。機場本体に係る被災内容として最も多いのは弁類、水位計などのその他機器類であり、次いで吐出樋管または送水路などであった（図-5）。

各破損箇所と SI 値の関係を整理した。そのうち、可とう管の破損については、5 件しかないものの、そのうち 4 件が昭和 50 年代に施工されたものであり、同年代施工の可とう管破損が多い傾向がある。その理由について以下のとおり推察した。

- 土地改良事業計画設計基準「パイプライン」¹⁾では昭和 52 年 10 月の制定において 83 ページ (2) 地震に対する検討が追加され、その中の a (3) で

ゲートや計装設備であり、再稼働に支障を来すような破損ではなかった。

- ③ 最新の基準が適用された施設で被災した機場は1機場のみで、破損箇所はバルブ設備と舗装陥没であった。母数（対象施設数）が1機場しかないことから、今後も分析のためのデータ収集が必要である。

4. 震度、SI 値および被害額との関係

地震動と被害額の関係性を見ると、SI 値の幅広いエリアに分散しているが、1千万円を超える高額な被害はSI 値52以上の割合が高い（図-6）。また、破損箇所を見ると、SI 値52以上ではポンプの継続運転に障害となる恐れがあるポンプ本体や基礎ならびに吐出樋管などが多い。

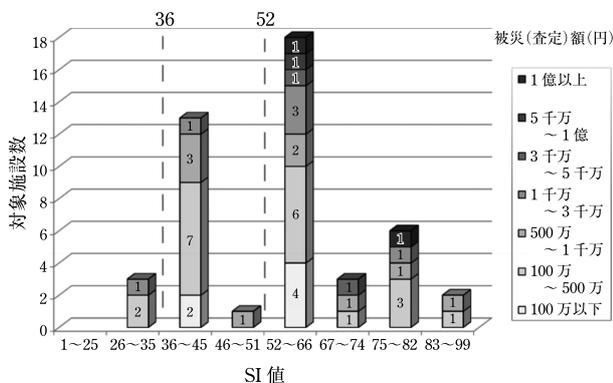


図-6 SI 値ごとの被災機場数と被災額

また、これらのダメージは地形分類上、後背湿地に建設された機場が4件と最も多く、次いで三角州、ローム台地および干拓地で各1件で、後背湿地にある機場に注意すべきであることが推測される。

IV. まとめ

可とう管の破損については、基礎の考え方の違いなどにより昭和50年代に施工されたものが破損する傾向が高く、同年代に可とう管を整備している施設については、基礎を確認し、必要に応じて改修を行う必要がある。

後背湿地に建つ機場ではSI 値がおおむね50以上を記録した場合、ポンプの稼働に障害が生じるような重大なダメージを被る可能性が高く、地震直後の点検においては用排水機場のみならず、排水樋管などを変状や損傷に注意して実施することが肝要である。また、可能であれば予防保全対策として排水樋管などの継手を耐震性を有するものに更新することが望まれる。

V. おわりに

本報の地震による機場の被災傾向分析においては、震度階の強さの幅が大きいことから、SI 値で行った。その結果は上述のとおりSI 値と被災の傾向が見いだせるものと考えている。また、加速度 (gal) のみで判断する地震計のみでは、揺れ方や時間などで構造物への被害が異なることから、実際の構造物の被害を判断できないことも生じている。すでにガス供給事業では地震後の緊急停止や復旧に実用化されているほか、本年度からは下水道事業においてもSI 値に基づく管理の導入が検討されている。

このようなことから、同様に線形の農業用水路においても、地震後の点検など今後の施設管理においては、これまでの震度階からSI 値に基づく検討・管理も今後の重要なテーマの一つと考えている。

現時点における分析では、地震後の用水排水機能の確保に不十分である。今後、調査研究の進展に即して、収集したデータを活用しつつ、来る南海トラフなどの大規模地震に対する事業継続を実施しうる計画整備を促進する調査研究を継続していきたい。

引用・参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「水路工（その2）パイプライン」, p.83 (1977)
- 2) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「ポンプ場」, p.206, 207 (1982)
- 3) 農林水産省農村政策部農村環境課：平成25年度 東北地方太平洋沖地震に伴う農地・農業用施設等の被災と地盤情報について (2014) [2016.5.12.受理]

竹中 一行 (正会員)



略 歴
1974年 長崎県に生まれる
1997年 九州大学農学部卒業
農林水産省入省
2013年 (一財) 日本水土総合研究所
2016年 農林水産省農村振興局防災課
現在に至る

畠中 哲也



略 歴
1973年 宮崎県に生まれる
1996年 山口大学工学部卒業
(株) 大本組入社
2015年 (一財) 日本水土総合研究所
現在に至る

山口 俊夫



略 歴
1954年 滋賀県に生まれる
1972年 内外エンジニアリング (株)
2005年 同社技術本部
現在に至る