

ネットワークを考慮した下水道施設の耐震性向上のための計画策定に関する共同研究

1. 研究目的

名古屋市の下水道事業の歴史は古く、耐用年数を大きく超過した施設から順次改築更新を実施し、機能向上を図る必要がある。しかし、対策が必要となる施設数が膨大であることや施設の運転状況、用地の制約等から多くの課題を抱えている。

一方で、発生が予想されている東海地震や東南海地震に対し、各施設では早急に耐震性を向上させなければならないが、それには膨大な時間、費用が必要であり、全てを満足することは現実的に困難である。

そこで、本研究では水処理センター14カ所、ポンプ所55カ所を対象に、大規模地震による被災時においても、各施設が最低限の機能を確保できることを目的に、オンサイトやオフサイトでの減災方法等について検討した。

2. 研究体制

本研究は、名古屋市と（財）下水道新技術推進機構で共同実施した。

3. 研究内容

本研究にて検討を行った主な項目は、以下のとおりである。

① 簡易耐震診断

既存の竣工図等の限られた情報を用いて、土木施設の耐震性能を概略的に判定するための簡易耐震診断手法を検討した。

② 耐震性能区分の設定

下水処理場の被災事例を調査した結果を踏まえた簡易耐震診断判定値により、各土木施設の耐震性能を区分した。

③ 被災状況の推定

大規模地震により、各土木施設がどの程度被害を受けるのか推定した。

④ オンサイトでの減災対策

過去の被災事例や施工の容易さ等を勘案し、オンサイトでの減災対策を検討した。

⑤ オフサイトでの減災対策

水処理センター間、ポンプ所間の既設管を活用したネットワークをオフサイト対策として検討した。

4. 研究結果

4.1 簡易耐震診断

4.1.1 検討目的

大都市の下水道施設は、数多くの下水処理場、ポ

ンプ場等の施設を有していることから、詳細診断には多くの費用と時間を必要とする。そのような中で簡易耐震診断は、耐震対策や減災対策計画を策定するにあたり、下水処理場やポンプ所の土木施設の耐震性能を概略的に把握することを目的に実施される。

本研究では、既存の竣工図等の限られた情報を用いて、土木施設の耐震性能を概略的に判定するための簡易耐震診断手法について検討した。

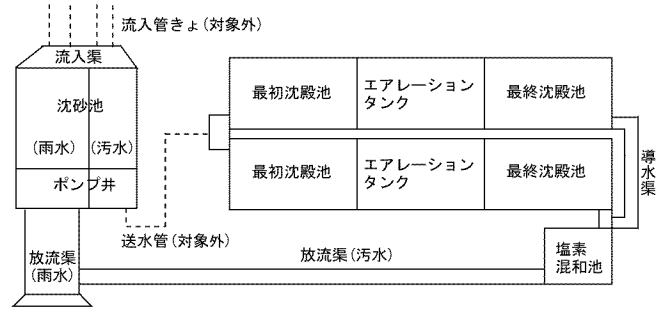


図-1 簡易耐震診断の対象構造物

4.1.2 簡易耐震診断の対象構造物

対象箇所は、既設下水処理場 14 箇所とした。そして対象構造物としては、土木構造物における図-1 に示した施設とし、流入管きよや送水管は対象外とした。

4.1.3 簡易耐震診断項目の設定

検討の結果、簡易耐震診断項目として評価基準を 10 項目取り上げた(表-1)。また各評価基準内に、評価項目を設けた(例：地盤種別…1種・2種・3種)。

4.1.4 AHP 法による簡易耐震診断

(1) 概要

文献*に従い、評価基準同士・評価項目の内容に関する重み係数の設定方法として、統計学的手法のうち AHP 法を採用した。AHP 法とは意思決定手法のひとつで、a 個の属性の重みを決める際に、一対比較(評価基準 1 が評価基準 2 より重要か否かの判断)を a(a-1)/2 回行う必要がある。今回の一対比較では、回答者(n=31)の負担を減らすことを考え、5 段階評価とし、表-2 のとおり点数を割り当てた。

(2) AHP 法による計算

①回答者別各評価基準の重要度の算出

回答者別各評価基準の重要度は、各評価基準に対する点数の幾何平均(積を 1/a 乗した値)を、その総和が 1 になるように調整することで得られる。計算例を表-3 に示す。

*「環境性能を考慮した建築物の総合評価のための重み決定法に関するアンケート調査」荻島 理他 日本建築学会大会(東北) 学術講演会

表-1 簡易耐震診断項目

地盤の耐震性能評価	構造物の耐震性能評価
①地盤種別	⑥建設年代(構造基準)
②液状化危険度(PL 値)	⑦基礎の種類
③液状化による沈下量	⑧杭の支持形式
④圧密層厚	⑨伸縮目地
⑤震度階	⑩劣化度(診断評価値)

表-2 一対比較の点数表

評価基準 1 が評価基準 2 より	点数
非常に重要である	5
重要である	3
同じくらい重要である	1
重要でない	1/3(0.3333)
全く重要でない	1/5(0.2)

表-3 回答者別各評価基準の重要度の算出例

評価基準	地盤種別	液状化危険度	液状化沈下量	圧密層厚	震度階	構造基準	基礎種類	杭支持形式	伸縮目地	施設劣化度	積	幾何平均	重要度
地盤種別	1	0.3333	0.3333	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.037	0.7192	0.0606
液状化危険度	3	1	3	1	0.3333	1	3	3	3	5	405	1.8228	0.1536
液状化沈下量	3	0.3333	1	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.3333	0.896	0.0755
圧密層厚	1	1	1	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.3333	0.896	0.0755
震度階	3	3	3	3	1	1	3	3	3	5	10935	2.5344	0.2136
構造基準	3	1	3	3	1	1	3	3	3	5	3645	2.2708	0.1914
基礎種類	1	0.3333	1	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.1111	0.8027	0.0676
杭支持形式	1	0.3333	1	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.1111	0.8027	0.0676
伸縮目地	1	0.3333	1	1	0.3333	0.3333	1	1	1	3	0.1111	0.8027	0.0676
施設劣化度	0.3333	0.2	0.3333	0.3333	0.2	0.2	0.3333	0.3333	0.3333	1E-05	0.3192	0.0269	
											計	11.867	1.0000

表-4 回答者別各評価基準の整合度の算出例

評価基準	地盤種別	液状化危険度	液状化沈下量	圧密層厚	震度階	構造基準	基礎種類	杭支持形式	伸縮目地	施設劣化度	積	幾何平均	重要度
重要度	0.0606	0.1536	0.0755	0.0755	0.2136	0.1914	0.0676	0.0676	0.0676	0.0269	1		
地盤種別	0.0606	0.0512	0.0252	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.6311	10.4125	
液状化危険度	0.1818	0.1536	0.2265	0.0755	0.0712	0.1914	0.2029	0.2029	0.2029	0.1345	1.6433	10.6979	
液状化沈下量	0.1818	0.0512	0.0755	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.8026	10.6307	
圧密層厚	0.0606	0.1536	0.0755	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.7838	10.3816	
震度階	0.1818	0.4608	0.2265	0.2265	0.2136	0.1914	0.2029	0.2029	0.2029	0.1345	2.2439	10.5063	
構造基準	0.1818	0.1536	0.2265	0.2265	0.2136	0.1914	0.2029	0.2029	0.2029	0.1345	1.9367	10.1209	
基礎種類	0.0606	0.0512	0.0755	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.6814	10.0733	
杭支持形式	0.0606	0.0512	0.0755	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.6814	10.0733	
伸縮目地	0.0606	0.0512	0.0755	0.0755	0.0712	0.0638	0.0676	0.0676	0.0676	0.0807	0.6814	10.0733	
施設劣化度	0.0202	0.0307	0.0252	0.0252	0.0427	0.0383	0.0225	0.0225	0.0225	0.0269	0.2768	10.2906	
平均値: λ	K=10 評価基準の項目値												
整合度: CI 値 = (λ - K) / (K - 1) < 0.1													
Σ	103.2605												
λ	10.3260												
CI 値	0.0362												

②回答者別各評価基準の整合度の算出

回答者の回答に著しい矛盾がないことを確認するため、整合度 CI 値を算出する。整合度は、各評価基準に対する点数と重要度の積の総和を、当該評価基準の重要度で割った値の平均値 λ より算定され、0 に近いほど整合していることになる。計算例を表-4 に

示す。今回は、整合度が0.1未満である場合に回答結果を採用するものとした(n=12)。

③各評価基準の重要度の算出

②で選別された回答から算出される重要度を、①の手法で整理することで、各評価基準の重要度を表-5「補正前」のとおり算出した。

④各評価項目の重要度の算出及び全体的な補正

各評価項目についても、評価基準と同様に一対比較を行い、重要度を算出した。評価項目については、各評価基準における最大値が5.0となるように補正した。

また評価基準の重要度についても、補正前の最小値(④圧密層厚：0.051)が1となるように補正した(表-5)。

そして、各評価項目と重要度の積により、簡易耐震診断の重み係数を表-6のとおり決定した。

(3) 簡易耐震診断

簡易耐震診断は、表-6を用い、土木構造物ごとの重み係数の和により行った。

なお簡易耐震診断の対象地震動としては、地盤の液状化判定ではレベル2地震動とし、それ以外では東海・東南海連動地震と濃尾地震としている。

今回検討対象の下水処理場毎に簡易耐震診断の判定値を単純平均して、耐震性能の低い順に並べ替えた結果を図-2に示す。判定値が大きくなるほど、施設の耐震性能が悪いことを示している。

4.2 下水処理場被災事例の調査

4.2.1 概要

下水処理場被災事例を調査し、表-6により簡易耐震診断を実施した(n=48)。そして、判定値と実際の被害状況や復旧期間等を整理することで、簡易耐震診断の判定値の耐震性能区分を設定した。

4.2.2 本復旧日数と判定値の関係

下水処理場の本復旧に要した日数と施設数を、表-7に示す。表-7から、本復旧日数として短期(7日以内)、中期(50日程度)、長期(1年以上)の3段階以上に区分することが望ましいと

表-5 評価基準の重要度

簡易耐震診断項目	重要度		順位
	補正前	補正後	
①地盤種別	0.075	1.454	7
②液状化危険度(PL値)	0.100	1.947	3
③液状化による沈下量	0.086	1.675	5
④圧密層厚	0.051	1	10
⑤震度階	0.164	3.196	2
⑥建設年代(構造基準)	0.239	4.647	1
⑦基礎の種類	0.088	1.709	4
⑧杭の支持形式	0.063	1.225	8
⑨伸縮目地	0.080	1.561	6
⑩劣化度(診断評価値)	0.055	1.064	9
合計	1		

表-6 簡易耐震診断の重み係数

評価基準	評価項目	重み係数	評価基準	評価項目	重み係数
①地盤種別	1種	1.479	⑥建設年代(構造基準)	平成10年以降	3.689
	2種	2.608		平成4年～平成10年	5.225
	3種	7.271		昭和57年～平成4年	7.225
②液状化危険度(PL値)	0	1.778		昭和26年～昭和56年	13.990
	0～5	2.177		昭和元年～昭和25年	17.610
	5～15	4.460	大正14年以前	23.236	
	15以上	9.734	⑦基礎の種類	直接基礎	4.842
③液状化による沈下量	なし	1.344		場所打ち杭	5.557
	1cm～10cm	1.859		鋼管(S C)杭	4.168
	11cm～30cm	3.919		P H C杭	5.430
	31cm以上	8.377		P C杭	7.266
④圧密層厚	0m	1.069	R C杭	8.546	
	0m～5m	1.287	⑧杭の支持形式	支持杭	2.038
	5m～10m	1.953		摩擦杭	6.126
	10m～20m	3.163	⑨伸縮目地	池内に目地なし	2.451
	20m以上	5.000		池内に目地あり	7.804
⑤震度階	5弱以下	2.421	⑩劣化度(診断評価値)	0	1.064
	5強	2.968		0.0～0.3	1.915
	6弱	4.610		0.3～0.6	2.767
	6強	8.172		0.6～0.9	3.618
	7	15.978		0.9～1.2	4.469
		1.2以上		5.321	

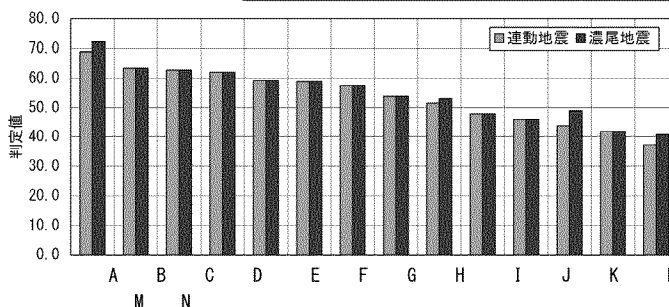


図-2 下水処理場別の簡易耐震診断結果(判定値)

表-7 下水処理場の本復旧に要した日数

本復旧日数	被害施設数	計
0	33	35
1	2	
7	1	13
50	6	
365	2	
800	2	
1500	2	48
計	48	

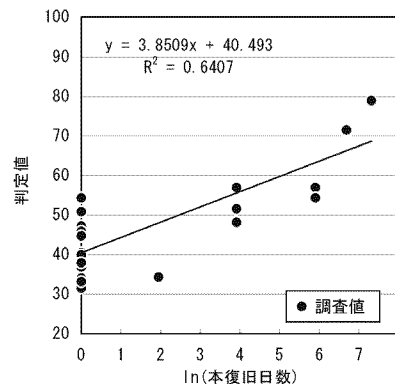


図-3 本復旧日数と判定値の関係

示唆された。

また $\ln(\text{本復旧日数})$ と判定値の関係を一次式で近似した結果を、図-3に示す。相関係数 R^2 は 0.64 であり、 $\ln(\text{本復旧日数})$ と判定値の間には正の相関があることから、簡易耐震診断結果よりおよそその本復旧日数が推測可能といえる。

4.3 耐震性能区分の設定

4.2.2 より、耐震性能区分としては $\ln(\text{本復旧日数})$ により定めることが適切と考えられた。そこで、図-3に示した近似式において、 $x = \ln(\text{本復旧日数}) = 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 7.0$ を代入し、判定値 y を算出した。算出結果を表-8に示す。また、この算出結果より設定した耐震性能区分を表-9に示す。

4.4 被災状況の推定

大規模地震により、各土木施設がどの程度被害を受けるのか推定した結果、被災時において、一部の水処理センターにおいて処理能力が不足することが懸念された(詳細結果は割愛する)。

4.5 オンサイトでの減災対策

4.5.1 オンサイトでの機能確保の工法

大規模地震の発生に備え、水処理センター及びポンプ所それぞれが個別に対策を行うオンサイトでの減災対策について検討した。

土木施設の耐震性を向上させるための数ある工法の中から、本研究では、比較的施工が容易である点、減災効果が大きい点を考慮し、“施設の目地部に後付式伸縮可とう継手を設ける工法”を選択した。後付式伸縮可とう継手は、既設構造物の目地部分にアンカーボルトで取り付ける構造であり、地震により目地部が開いても、そこからの漏水を防ぐことができるものである。

4.5.2 水処理センターでの対策

水処理センターにおけるオンサイトでの減災対策について示す。図-6にE水処理センターにおける可とう継手の設置位置を、表-10にその対策効果を示す。可とう継手を設置することにより、簡易耐震診断の判定値が低下し、耐震性能区分がAからBに向上した。

4.5.3 ポンプ所での対策

水処理センターと同様、ポンプ所内の目地部に可とう継手を設けた場合の効果を推定した。ポンプ所では、耐震性能がSランク及びAランクであるものについて、対策を実施することとした。その結果、

一部のポンプ所において、可とう継手の設置等の対策が必要と判断された。

4.6 オフサイトでの減災対策

4.6.1 既設管を活用したネットワーク

水処理センター及びポンプ所の被災時を想定し、オフサイトでの減災対策として、既設管を活用した施設間のネットワークについて検討した。

既設管活用の前提条件として、本市には処理区界、排水区界を横断する管渠が多数存在することが挙げられる。また、管渠の重要路線については、順次耐震化が図られるものとし、活用することとした。

4.6.2 水処理センターでの対策

水処理センター間の被災時ネットワークについて検討した。検討は、主に①ネットワークの対象となる水処理センターの抽出、②ネットワークの対象となる管渠の抽出及び能力評価、③ネットワークによ

表-8 被害規模と耐震性能の区分値

Ln(本復旧日数)	本復旧日数	判定値	耐震性能の区分値	被害規模
0.0	1.0日	40.49	40	地震の被害が無いかあっても数日で本復旧が可能な被害
2.0	7.4日	48.19	48	本復旧まで1週間程度の被害
4.0	55日	55.90	56	本復旧まで数ヶ月程度の被害
6.0	403日	63.60	64	本復旧まで1年程度の被害
7.0	1097日	67.45	67	本復旧まで数年かかる被害

表-9 簡易耐震診断の判定値と耐震性能区分

判定値 y	耐震性能区分	摘要
64 以上	S	耐震性能が極めて低い。施設全体が被害を受ける可能性が高く、施設内の伸縮目地等からの漏水が懸念される。大規模な地震対策が必要になる。本復旧まで数年必要になる。
56 以上 64 未満	A	耐震性能がかなり低い。施設内の伸縮目地等からの漏水や、流入管からの漏水が発生する可能性が高い。本復旧までに1年程度必要になる。
48 以上 56 未満	B	耐震性能がやや低い。施設内の伸縮目地や連絡水路部からの漏水に注意する必要がある。本復旧まで数ヶ月必要になる。
40 以上 48 未満	C	耐震性能が少し低い。施設間の目地や施設と管渠の接続部からの漏水や周辺地盤の沈下に注意する必要がある。本復旧まで1週間程度必要になる。
40 未満	D	耐震性能は高いとは言えないが、被害は軽微であると考えられる。無被害もしくは本復旧までに数日必要になる。

表-10 E水処理センターにおける対策効果

設置位置	設置延長 (m)	耐震性能	
		設置前	設置後
汚水沈砂池	102	A (60.69)	B (55.33)
最初沈殿池1系	140	A (58.98)	B (53.63)
最初沈殿池2系	83	A (58.98)	B (53.63)
塩素混和池	33	A (59.83)	B (54.48)
放流渠	38	A (58.98)	B (53.63)
合計	396		

※ () 内は判定値を示す。

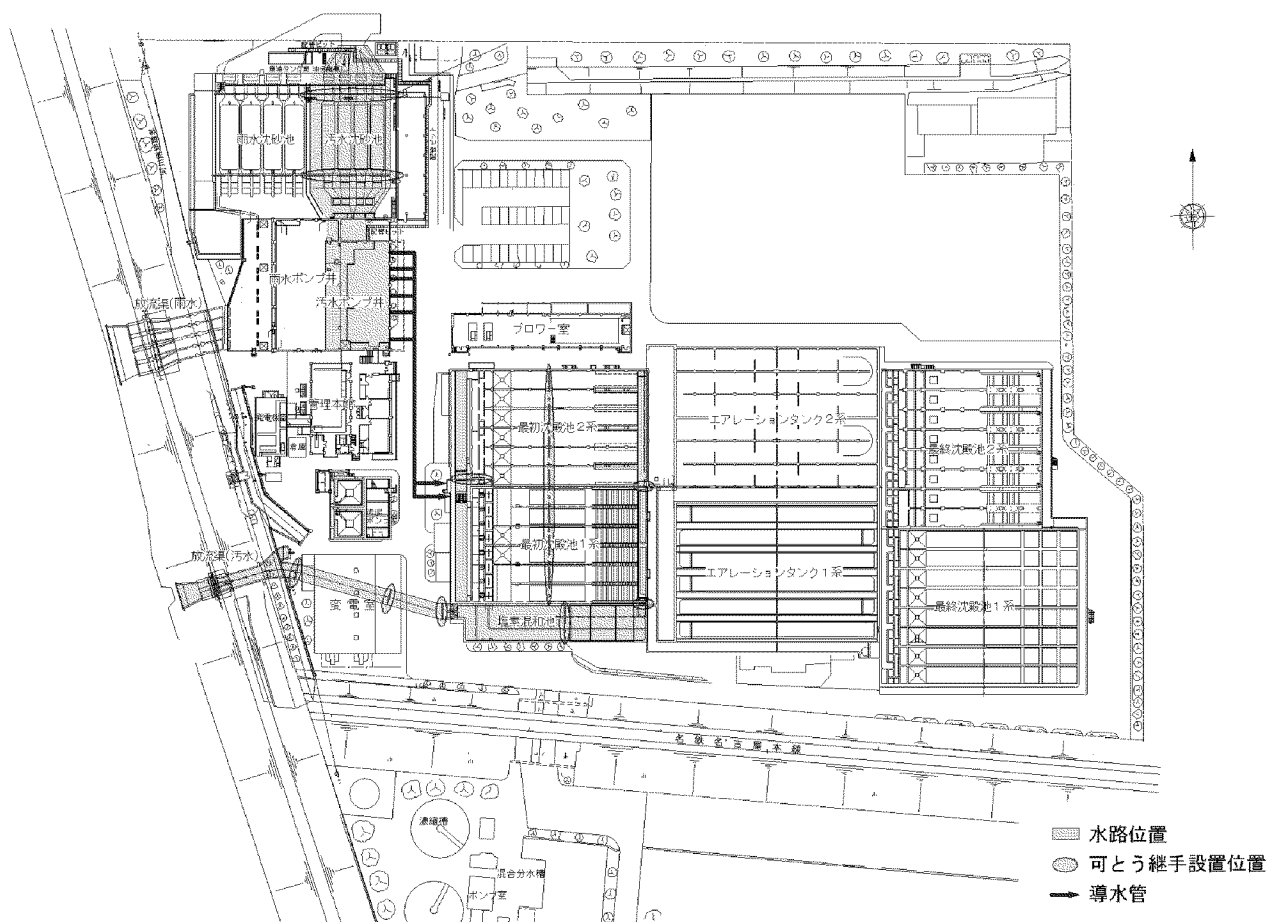


図-6 E水処理センターにおける可とう継手の設置位置

る減災効果の検討の順に行った。

①では、被災時に処理能力に余裕のある水処理センター7カ所と処理能力が不足する水処理センター7カ所について、ネットワークの対象となるものを抽出し、それらの組合せ候補を整理した。

②では、ネットワークの候補となる水処理センター間に管渠ルートが存在するか確認した。そして、存在する場合は、対象水量を流し得る能力が確保できるか確認を行った。

③では、②の結果に送水元及び受入先の水量条件も加味し、被災時にネットワークする水量を設定した。

①～③の検討より、本市では、被災時にA水処理センターからD水処理センターへのネットワークが可能である結果となった。

4.6.3 ポンプ所での対策

ネットワークにより雨水ポンプ所の耐震性を向上させる方法として、「既設のみを活用したネットワーク」と「既設と新設を活用したネットワーク」につ

いて検討した。

しかし、検討条件（被災時にも計画降雨を対象とすること、緊急雨水整備計画等の既計画との整合、5年以内の対策実施）を考慮すると、ネットワーク化は非常に厳しい状況にある。また、下流側排水区の浸水リスクの増加が懸念されることから、既設を活用した雨水ポンプ所間のネットワークの実現には困難を伴うものと考えられた。

5. まとめ

本研究では、水処理センター、ポンプ所の各施設が被災時にも最低限の機能を確保できることを目的に、オンサイトやオフサイトでの減災方法について検討した。

まず、既存情報を用いて、土木施設の概略的な耐震性能を判定する簡易耐震診断手法を開発した。そして、被災自治体のアンケート結果を考慮して土木

施設の耐震性能区分を設定した。これをもとにして、被災時の水処理センターの被災状況（残存能力）を推定した。

また、耐震性を向上させるために、オンサイトでの対策（可とう継手の設置）、オフサイトでの対策（ネットワーク化）とそれらの効果について検討した。

今後の課題としては、被災自治体のアンケート結果（サンプル数）が多くないため、被災状況推定の精度向上を図ること、簡易耐震診断は、各土木施設の耐震性能を概略的に判定し、優劣を付けたものであるため、別途詳細な診断が必要であることが挙げられる。また、下水道施設が持つ特徴（敷地条件が厳しい点など）を十分に勘案した上で、被災時に如何に処理を継続しながら、通常の処理状況（二次処理）まで復旧させるかの検討が必要と考えられる。

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部研究員

森田 弘昭
松葉 秀樹
阿辺山 一輝

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部研究員

森田 弘昭
松葉 秀樹
阿辺山 一輝