

平成 23 年東北地方太平洋沖地震被害調査報告

— 土木施設関係の被害概況 —

国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所緊急調査団

本稿は、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による土木施設関係の被害概況について、国土交通省国土技術政策総合研究所および独立行政法人土木研究所が連携して行った被害調査結果に基づき、報告するものである。

キーワード：平成 23 年東北地方太平洋沖地震、地震被害、土木施設

1. まえがき

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に、三陸沖を震源とするマグニチュード (M) 9.0 の巨大地震が発生した¹⁾。この地震により宮城県栗原市で震度 7 を観測するなど広い範囲で強い揺れを観測した。気象庁は、この地震を「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」と命名した。東北地方太平洋沖地震およびこれに伴う原子力発電所事故による災害については、「東日本大震災」と呼称することとなった。太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、とくに東北地方から関東地方の太平洋沿岸では激甚な被害を受けた。消防庁の取りまとめによると、10 月 11 日 17 時現在、地震による死者は 16 019 名、行方不明者は 3 805 名、負傷者は 6 121 名、住家被害は、全壊 118 621 棟、半壊 181 801 棟、一部破損 621 013 棟、火災発生は 287 件に上っている²⁾。

地震後、国土技術政策総合研究所、土木研究所、建築研究所および港湾空港技術研究所では、連携して関係する分野ごとに国土交通省の緊急災害対策派遣隊 (TEC-FORCE) として現地対応に参画するとともに、自主調査チームを編成し、職員を現地に派遣した。本文は、これらの現地調査に基づき、土木施設関係の被害概況を報告するものである。なお、本文中の数値などには調査時点のものがある点に留意いただきたい。詳細な被害調査結果については、土木施設災害調査速報³⁾として公開しており、ダウンロード可能となっているので、国土技術政策総合研究所、土木研究所のホームページを参照いただきたい。

(国総研：運上茂樹)

2. 地震と地震動の特性

2.1 震源と震度分布

気象庁の発表による本震の震度分布と震央位置におおよその震源域の範囲を加えたものを図 - 1 に示す。宮城県栗原市で震度 7 を観測したほか、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度 6 強、北海道から九州地方にかけて震度 6 弱から 1 の揺れを観測した。本震の 2 日前に M 7.3 の前震があったほか、本震より 60 日間に発生した M 4.0 以上の余震は、840 回となっており、M 7.0 を越える余震も発生している。

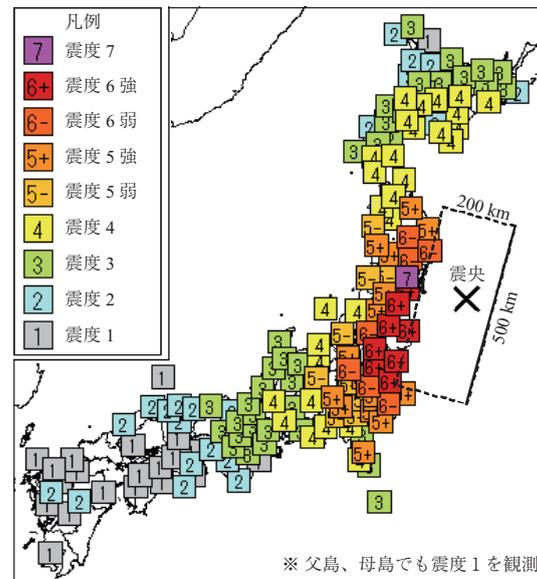


図 - 1 気象庁震度の分布 (気象庁公表の図に加筆)

2.2 地震動の特性

国土交通省では、施設の管理を目的として全国約 700 箇所地震計を設置し、地震発生直後に観測した地震動の代表値を伝送する、地震計ネットワークを整備している。

本地震においても、東北地方整備局を中心に約 400 箇所地震動を観測した。このうち、最大加速度では那珂川上流出張所で観測した 933 cm/s^2 、SI 値では大崎出張所で観測した 105 cm/s が最大であった。なお、観測データの最大加速度、SI 値、計測震度相当値をホームページ⁴⁾において公開中である。

(国総研：片岡正次郎、長屋和宏)

3. 土砂災害

今回の地震による土砂災害としては、8 月 3 日時点で 110 件、死者 19 人の報告がなされていたが、その後の画像判読により、約 200 箇所の土砂移動が抽出されている。また、3 月 12 日から 29 日にかけて延べ 11 回のヘリコプターによる概況調査を行った。土砂災害が発生する可能性が高い震度 5 強以上の範囲は東北から関東にかけての太平洋側に広く分布するが、その範囲に含まれていた平成 20

年岩手・宮城内陸地震の被災エリアでは天然ダム形成箇所を含む3,500箇所以上の斜面崩壊が当時発生したのに比較し、今回は斜面崩壊などはきわめて少ない状況である。一方、これまでに報告されている土砂災害箇所は、福島県中通り地方から栃木県北部に多く、必ずしも震度や震源域からの距離に規定されていないようにも見える。

土砂災害による被害が大きかった福島県白河市周辺での現地調査の概要を以下に示す。白河市葉ノ木平地区では、幅約70m、長さ約160mの地滑りが発生し、土塊が流動化して広がり（幅約120m）、甚大な被害（死者13名）をもたらした。土塊の最大の移動距離は約120mとみられる（写真-1）。また、白河市岡ノ内地区では、幅約50m、長さ約100mの地滑りが発生し、土塊が30m程度流動化して被害（死者1名）をもたらした。両地区とも地滑り発生箇所の地質は風成火山灰層で、土塊は乱された状態で流動化している。上記以外でも山腹斜面や段丘、盛土部の一部において斜面崩壊・地滑りが発生している。今後、土砂災害が発生した箇所の特徴や流動化した地滑りのメカニズム等を明らかにするには、さらなる調査が必要であると考えられる。



写真 - 1 白河市葉ノ木平地区

（国総研：西 真佐人，小山内信智
土研：石塚忠範，武士俊也，杉本宏之）

4. 下水道施設

4.1 下水道施設の地震被害

下水道施設は、地震動および津波により甚大な被害を受けた。8月8日現在、処理場については、稼働停止が沿岸部の大型処理場等16箇所、施設損傷が38箇所あるほか、津波および原発事故により被災状態が確認できない処理場が9箇所ある。

管路施設については、東北から関東にかけての広い範囲（138市町村など）で、マンホール隆起や道路陥没等の被害が発生しており、茨城県潮来市や千葉県浦安市周辺では液状化現象による大きな被害が発生している。また、ポンプ場についても多数被災している。以下に、現地を確認した主な施設の被災状況について示す。

4.2 処理場の被害状況

(1) 仙台市南蒲生浄化センター

南蒲生浄化センター（仙台市宮城野区）は、仙台市域の7割の汚水を処理する市の基幹処理場である。海域に面していることから津波により設備の大半が壊滅的な被害を受け、現在は簡易処理（沈殿処理+消毒）および仮設遠心脱水機による汚泥処理で応急対応している（写真-2）。



写真 - 2 南蒲生浄化センター（仙台市）の被災状況

(2) 相馬市下水処理場

福島県沿岸北部に位置する相馬市下水処理場（処理能力約7千 m^3 /日）は、海岸から1.5kmほどの距離にあり、津波による浸水被害を受けた。機械・電気の一部が損傷するとともに、生物反応槽の活性汚泥が死滅し、稼働停止となったことから簡易処理（沈殿処理+消毒）で応急対応している。

4.3 管路施設の被害状況

(1) 宮城県栗原市

震度7を観測した栗原市は、平成20年岩手宮城内陸地震（震度6強）でも大きな被害を受けており、今回の地震でも広い範囲で被害が生じた。同市築館地区では、液状化対策未施工箇所で見られたものの（写真-3）、前回地震で埋戻し部の沈下やマンホールの隆起が生じ、液状化対策を施工し復旧した箇所においては、今回の地震での被害は軽微であり、復旧時の対策工法が有効であったと考



写真 - 3 栗原市のマンホール被災状況

えられる。

(2) 千葉県浦安市

浦安市は本震で震度5強を観測した。新浦安駅より海側の埋立地において広域にわたり激しい液状化が見られ、多くのマンホールが隆起した地区もある。この現象は、茨城県潮来市や神栖市の開発地区においても見られた。

4.4 ま と め

津波被災地等で大半の処理機能が失われ、本復旧まで何年も要すると見込まれる事態に対し、水道等が復旧する中、簡易放流に関するモニタリング方法をまとめて国土交通省下水道部より通知するとともに、4月12日に設置された下水道地震・津波対策技術検討委員会において、復旧にあたっての緊急提言（4月15日）、段階的応急復旧にあたっての提言（6月14日）、本復旧にあたっての提言（8月15日）を行った。今後、津波や広域液状化にも対応した復旧のあり方全体をまとめる予定である。

（国総研：堀江信之，横田俊宏，小川文章，深谷渉，宮本豊尚，西村峻介，橋本翼）

5. 河川堤防

河川堤防等の被災状況の把握を目的として、表-1に示す直轄区間において現地調査を行った。堤防被災は、内陸の地震動および河口近傍の津波の作用によるものに大別される。それぞれの主だった被災形態や特徴などの概略について以下に示す。

表 - 1 踏査した河川名

場所	主な外力	河川名
内陸部	地震動	江合川・鳴瀬川・吉田川
河口近傍	津波	新田北上川・鳴瀬川・名取川・阿武隈川

5.1 地震動による被災

堤防が大きく変形した区間におおむね共通する被災形態は、堤防天端とのり肩部周辺の陥没、のり尻部の側方への移動・変形、それらに伴う堤防縦断方向へ伸長するクラックの発生であった（写真-4）。クラック内に見られる高含水の土砂の噴出痕は、小段上、のり尻部などでも見られ、大規模な堤防被害を生じさせた原因として、堤体下部の液状化、基礎地盤の液状化、それらの複合要因が考えられた。

5.2 津波による被災

破堤部は、越水が生じており、かつ、①特殊堤区間、

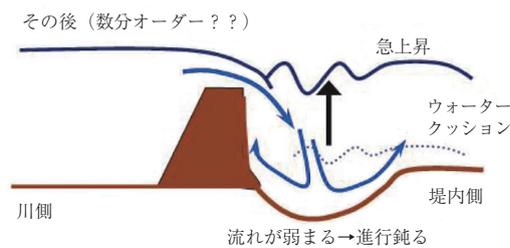
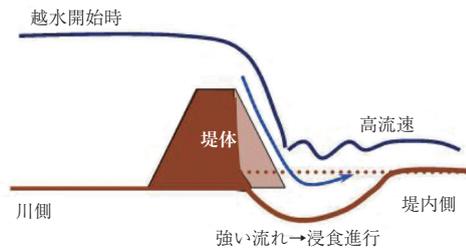


図 - 2 堤内側の水位急上昇による浸食進行の抑制イメージ



写真 - 4 地震動による天端の沈下と縦断クラックの発生（鳴瀬川左岸 30 kp 付近）

②河口部の海岸堤と繋がる隅角部とその周辺区間、および③河道が湾曲しているなどのため河口から遡上してくる津波に対して川側のり面が向かい合う形になる区間のいずれかの一部であった。また、堤内側への越水流れによると推定される堤体の侵食や基礎地盤の洗掘（落堀の形成）は、写真-5に一例を示したように堤体断面を大きく減じることから、破堤に次いで程度の大きな被災の一形態と考えられる。このような地点では、痕跡水位から堤防天端で最大1m程度またはそれ以上の冠水が生じたと推察される。このような強い越流を受けながら破堤に至らなかった要因については、図-2に模式的に示すような堤内側の水位の急上昇が考えられる。そのほか、津波の河道内遡上



写真 - 5 越水による侵食と落堀の形成（阿武隈川河口付近右岸）

流れによるのり面の植生はく離・侵食や護岸のめくれ上りなどが散見されたが、堤体を大きく減じる状況は確認されていない。

(国総研：福島雅紀，藤田光一，服部 敦，武内慶了，福原直樹)

6. ダム

今回の地震により、堤体クラック等の変状や漏水量の増加が発生した4ダムについて、4月7～9日の3日間に実施した現地調査の概要を述べるとともに、103ダムで観測した地震動の特性を示す。

6.1 摺上川ダム（中央土質遮水壁型ロックフィルダム、堤高 105.0 m、国土交通省管理）

摺上川ダムでは、コアの直下流5区間で分離しているダム漏水量の総量が地震直後に約70 l/min から約100 l/min に増加した。また、地震の影響により、ダム堤体最大断面の天端において17 cmの沈下が発生した。漏水量や沈下量の増加量はダムの規模から考えると大きい値ではなく、地震後も安定しているため安全性の問題はないと判断されるが、今後は既往の計測値と比較しながら、経過監視を行う。

6.2 石淵ダム（コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム、堤高 53.0 m、国土交通省管理）

石淵ダム（写真 - 6）では地震発生後、河床部の漏水量が約2000 l/min から約3000 l/min に増加したと報告されていたが、その多くが、漏水量計測水路部に大量に付着した藻によるせき上げによることが判明した。また、ダム最大断面付近の天端の沈下は1 cm程度と小さいものであった。さらに、上流側遮水壁の損傷も見あたらず、ダムの安全性に問題はないものと判断された。



写真 - 6 損傷の見られなかった石淵ダムの上流側遮水壁

6.3 田瀬ダム（重力式コンクリートダム、堤高 81.5 m、国土交通省管理）

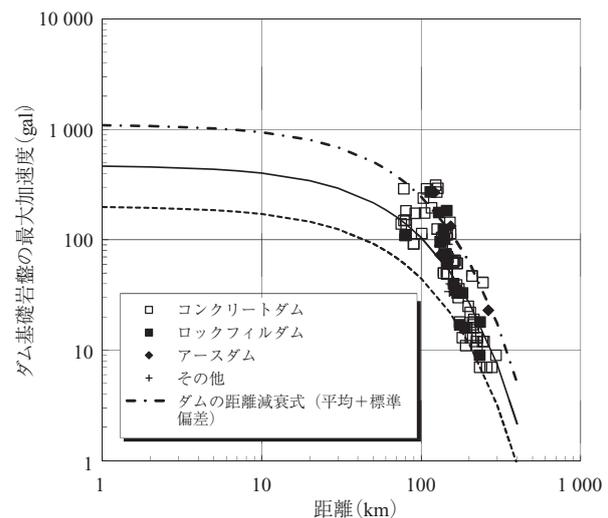
田瀬ダムでは地震により漏水量が14 l/min から69 l/min に増加した。個別の横継目漏水量は最大でも10 l/min程度と大きい値ではなく、ダムの安全性に問題はないものと判断されるが、地震前にほとんどゼロであったことを考えると、今後の貯水位と漏水量の相関に注意した監視が必要である。

6.4 御所ダム（重力式コンクリートダム・中央土質遮水壁型ロックフィルダムの複合型ダム、堤高 52.5 m、国土交通省管理）

御所ダムのコンクリートダム部において、地震により2箇所の横継目漏水が発生した。そのうち、1箇所では、地震により20 l/min から35 l/min に増加した。地震後、漏水量の値は安定しているため安全性の問題はないと判断されるが、今後は既往の計測値と比較しながら、経過監視を行う。

6.5 ダムにおける地震動の特性

今回の地震により、ダムの基礎または低標高部の監査廊内などに設置された地震計で観測された水平方向の最大加速度（速報値）が100 gal以上の国土交通省所管ダムは31ダムである。図 - 3に水平最大加速度と震源までの距離の関係を示す。今回の地震は、地震の規模としてはきわめて大きかったものの、地震の震源域からダム地点までの距離が約80 km以上離れており、過去の内陸活断層地震と比較して最大加速度の値は小さい。また、最大加速度と過去の地震により算出されたダムの距離減衰式（H20年式）との比較を図 - 3に示す。



※距離減衰式の地震の規模は気象庁マグニチュード (Mj) により定義されているが、グラフはモーメントマグニチュード (Mw) の値 (9.0) を用いた計算値であることに注意を要する。

図 - 3 最大加速度と距離減衰式（H20年式）との比較

(国総研：三石真也，山本陽子，猪俣広典
土研：山口嘉一，金銅将史，小堀俊秀，坂本博紀)

7. 海岸施設

3月14日から3月30日までの間に岩手県と宮城県で海岸堤防の被災状況および津波痕跡についての現地調査を行い、以下の測定・観察結果が得られた。

7.1 背後地における津波浸水

ほぼ全域で津波が堤防を越えた仙台平野では堤防から約1 kmを過ぎると浸水深が4 m以下に減衰することが確認され、今後の復旧・復興における防災施設配置のヒントにできる可能性がうかがえた（図 - 4）。

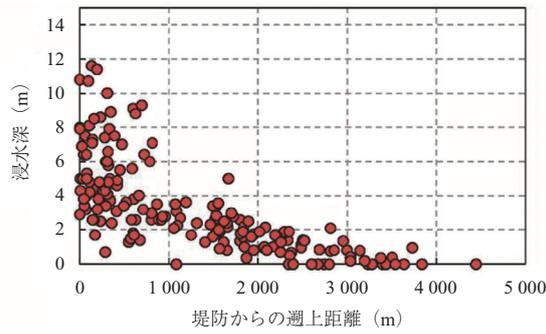


図 - 4 堤防からの距離と津波浸水深

7.2 堤防による津波の阻止

平内地区海岸（岩手県洋野町）では堤防表法面に津波痕跡が見られたが、背後地への越流の痕跡はなかった。明治三陸津波（明治29年）を想定した天端高で整備されたことで津波被害が阻止された（写真 - 7）。



写真 - 7 堤防の表法面に残された津波痕跡

7.3 津波による堤防の被災

仙台湾南部海岸（宮城県山元町）では、堤防が全壊し、海岸線が大きく後退した（写真 - 8）。蒲崎海岸（宮城県岩沼市）では堤防が残存したものの、天端から裏法面にかけての被覆が破壊され、背後では越流による洗掘が生じた（写真 - 9）。



写真 - 8 堤防の全壊と海岸線の後退

（国総研：諏訪義雄，加藤史訓，山田浩次，野口賢二，渡邊国広，笹岡信吾，土屋修一）



写真 - 9 堤防裏法面の損傷と背後の洗掘

8. 道路橋

8.1 道路橋の地震被害

地震発生後から現在まで、東北地方整備局および各自治体の道路橋について調査を実施した。今回の地震による道路橋の被害を大別すると、地震動による被害、津波の影響による被害、液状化の影響による被害の3つに分類される。

地震動による被害については、兵庫県南部地震以降に改訂された平成8年道路橋示方書による橋梁やこれに準じて耐震補強が行われた橋梁では、落橋が危惧されるような致命的な被害は確認されていない。一方で、耐震補強が施されていない橋梁には、RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷（写真 - 10）、支存取付け部の損傷（写真 - 11）、桁端部の損傷、鋼橋における上横構の損傷（写真 - 12）など、これまでの大規模な地震においてもみられた損傷が確認された。



写真 - 10 RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷

津波の影響による被害については、沿岸部の道路橋において東北地方から関東地方にかけて広範囲で生じた。主たる被災モードとしては①上部構造が流出（写真 - 13）、②橋台背面土が流出（写真 - 14）、③下部構造（橋脚）が流出（写真 - 15）および④橋脚周辺や基礎の洗掘が確認された。また、道路橋は流出を免れたが側道橋（歩道橋）が流出したケースも数橋でみられた。一方で、上部構造まで津波により浸水した道路橋でも、流出していないも



写真 - 11 支承が取り付けく上部構造 (RC 中空床版) の損傷



写真 - 12 鋼ランガーアーチ橋の上横構の損傷



写真 - 13 上部構造の流出状況



写真 - 14 橋台背面土の流出状況



写真 - 15 上部構造および下部構造 (橋脚) の流出状況 (破線部は流出した橋脚があった位置)

のも多い。

液状化の影響による被害については、周辺地盤の沈下による段差が確認された事例 (写真 - 16) があるが、橋の構造本体には安全性に影響を及ぼすような損傷は現時点では確認されていない。



写真 - 16 周辺地盤が液状化橋台取付け部に生じた段差 (50 cm 以上)

8.2 ま と め

今回の地震では、平成 8 年道路橋示方書以降により耐震性が確保されているものと確保されていないもので損傷に差がみられるなど、これまで進めてきた耐震補強の有効性が確認できたと考えられる。しかし、これまであまり経験のなかった津波による被害も発生し、こうした津波や広範囲に発生した液状化が橋梁にどのような影響を及ぼしたのかについては未だ不明な点も多く、現在検討中である。

(国総研：玉越隆史

土研：中谷昌一、星隈順一、村越潤、木村嘉富)

9. 道路土工・斜面

道路土工部および斜面の被災箇所についての現地調査を行った。以下に、道路土工および斜面における主な被害状況について示す。

9.1 一般国道 4 号線 福島市黒岩字伏拝地内

道路からの高さ約 20 m 付近の民地 (住宅地) 斜面 (谷埋め盛土) が崩壊し、道路全幅 (上下線計 4 車線) に崩壊土砂が堆積した。崩壊土砂は約 11 000 m³、崩壊頭部は道

○特集 / 総論○

路から水平距離約 100 m、道路部の堆積幅は約 100 m であった (写真 - 17)。



写真 - 17 現地全景 (旧道側より撮影)

9.2 一般国道 45 号線 宮城県石巻市河北町

北上川沿いの国道 45 号の上方斜面 (下部にモルタル吹付けあり) が幅約 100 m × 高さ約 70 m の範囲で崩壊し、上下線計 2 車線に堆積した (写真 - 18)。崩壊土砂体積は不明であるが、崩壊土砂は岩石混じり土砂 (岩石の最大径約 2 m) であった。



写真 - 18 現地全景 (仙台河川国道事務所提供)

9.3 あぶくま高原道路 矢吹町田町橋

地盤改良が行われていない橋台盛りこぼし部が、道路横断方向に滑りを起こした。この滑りに伴い、橋台背面側の盛土区間約 30 m において、上り線側の路肩が 50 cm 程度沈下し、路面に最大 30 cm 程度のクラックが道路縦断方向に数列入った (写真 - 19)。

9.4 ま と め

これまでの調査範囲においては、今回の東北地方太平洋沖地震による道路土工・斜面関係での主な被害としては、軟弱地盤上の盛土の崩壊、地山の緩んだ斜面の崩壊、新第三紀岩の斜面における地滑り、道路に隣接する谷埋め盛土の崩壊による道路閉塞、津波による盛土の流出、のり面浸食および斜面对策工の損傷であった。

(土研：佐々木靖人、佐々木哲也、小橋秀俊、浅井健一、藪 雅行、加藤俊二、山木正彦、藤田智弘)



写真 - 19 上り線の路面被害状況

10. あとがき

東北地方太平洋沖地震は、平成 7 年の兵庫県南部地震を大きく超える大震災となった。東北から関東に至る広範囲にわたり、強い振動と高い津波の影響により、多くの人命とともに、公共土木施設等への激甚な被害を引き起こした。

当該研究機関では、地震動特性、地域特性、構造物特性、液状化を含む地盤特性等の多様性を踏まえた効果的な地震・津波対策のために、今回の地震により生じた被害を精査し、今後の地震・津波防災にかかわる施策や研究開発に反映させていく所存である。

謝 辞

本調査の実施にあたり、国土交通本省、同東北地方整備局、同関東地方整備局、岩手県、宮城県、福島県および茨城県を始めとする関係諸機関には、災害対応でご多忙のなかにもかかわらず、多大なご協力をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 気象庁ホームページ：
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-portal.html#b>
- 2) 消防庁ホームページ：<http://www.fdma.go.jp/>
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：
平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、国総研資料第 646 号、土研資料第 4202 号、平成 23 年 7 月
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ：
河川・道路施設の地震計ネットワーク情報
<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb>

東日本大震災情報サイト

各機関のホームページに被害調査速報等、最新の被害調査情報・報告書を掲載していますので参照下さい。

国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ：

<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/index.html>

独立行政法人土木研究所ホームページ：<http://www.pwri.go.jp/>

【2011 年 9 月 21 日受付】