

人工地盤による津波対策

鈴木 義晃*1・浜戸 昇*2・平野 昌紀*3・西尾 浩志*4

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会に設置された津波対策委員会において、津波対策としての人工地盤について研究を行った。

本稿は、居住用人工地盤、避難所としての人工地盤、漁港荷捌き場としての人工地盤に着目して、PCaPCを利用した具体的な5つの活用例について紹介する。

キーワード：人工地盤、津波対策、PCaPC、道の駅、漁港荷捌き場、津波対策橋梁

1. はじめに

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会は、東日本大震災の発災後に津波対策委員会を設置した。本報告は本委員会で研究され、提案されている人工地盤について紹介する。

被災地の現状を写真 - 1 に示す。今回の震災はきわめて甚大であり、37.9 m の巨大津波の襲来、そして津波遡上



写真 - 1 被災地の現状

高は、国内最大となる 40.4 m を記録し、内陸部では多くの住居が全壊・半壊に見舞われた。その数は消防庁資料より 187 991 棟¹⁾であると報告されている。

本研究は実際の被災地区の復興を想定して、従来の漁港荷捌き場だけでなく、内陸での避難場所の確保および住民の高台への移転ができにくいことから平地に設ける人工地盤について研究し、提案する。

2. 人工地盤の検討

2.1 人工地盤の実績

既存の人工地盤としては、国土交通省北海道開発局による、安全・安心を確保し、水産物の高度衛生化などを目指した羅臼漁港（第4種）（写真 - 2）、現在も施工中のウトロ漁港（第4種）（写真 - 3）そして北海道南西沖地震を受けての津波対策としての青苗漁港（第3種）の漁港荷捌き場（写真 - 4）が知られている²⁾。

2.2 人工地盤の必要性

津波の被災を免れるためには、高台に移転することが第一である。しかしながら三陸のリアス式海岸特有の地形、つまりは急峻な山が海岸にせり出し、わずかに開けた平地に民家が密集して漁業を生業とする漁村集落も多く、全域にわたり浸水の被害を受けている地域も多い。これらの地域では高台移転の適地が少なく、通常の土地造成の手法で



*1 Yoshiaki SUZUKI

(株)ピーエス三菱 土木本部



*2 Noboru HAMATO

(株)ピーエス三菱 建築本部



*3 Masanori HIRANO

オリエンタル白石(株)
東京支店 PC建築グループ



*3 Kouji NISHIO

(株)安部日鋼工業 専務取締役



写真 - 2 羅臼漁港 (PCaPC 造)



写真 - 3 ウトロ漁港 (PCaPC 造)



写真 - 4 青苗漁港 (SRC 造)

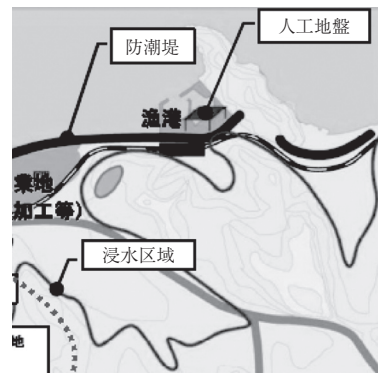


図 - 1 人工地盤の計画 (都市再生型)³⁾

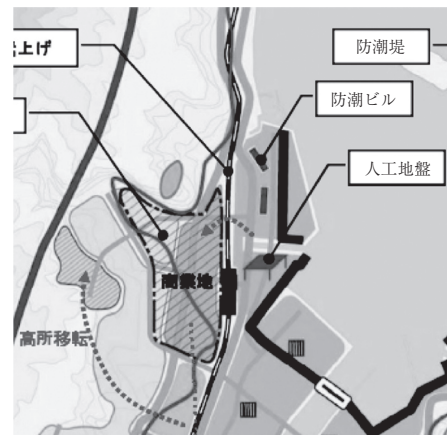


図 - 2 人工地盤の計画 (都市再建型)³⁾

は安全、環境の面からの問題が多い。また、地域経済の主体が水産業で、なるべく漁港近くに居住地を確保したいとの要望が多いことから、人工地盤の必要性が生じる。

人工地盤活用の効果は、

- 1) 巨大津波を回避 (スルー) させる
- 2) 少ない自然改変で宅地等を生み出すことが可能
- 3) 土地を地上空間と人工地盤上で立体的に活用
- 4) 全国施策として防災拠点の津波避難所の整備

が考えられる。

2.3 復興の考え方

岩手県の復興基本計画 (案)³⁾ によると、防災のまちづくりのツールとしての人工地盤は図 - 1, 2 に示すとおりで、都市再生型、都市再建型において、

- 1) 魚市場周辺等の土地の高度利用が必要な場所に設置する。
- 2) 防災施設等の関係により地盤高上げその他の手法が選択できない場所に設置する。

と明記されている。

また、東日本大震災復興構想会議の提言¹⁾ によると、「平地の市街地が被災し、高台の市街地は被害を免れた地域においては、高台への集約・有効利用を第一に考えるものの、権利関係の調整が難航するおそれがあるため、平地の市街地のすべてを移転させることは困難である。そこで、平地の安全性を向上させた上での活用が必要になる。」と提言されている。被災地が被災を受けた場合の計画概要図を図 - 3 に示す。

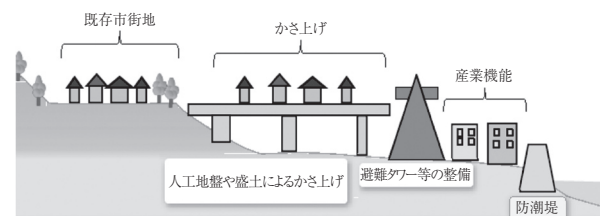


図 - 3 市街地が被災を受けた場合の計画¹⁾

3. PC 部材の活用

3.1 プレキャスト PC 部材

被災地の迅速な復興を図るために、PC 技術を活用する意義は大きい。とくに、プレキャスト (以下、PCa) PC

○特集／研究報告○

部材を主体として利用する利点は、

- 1) PC 構造は、ひび割れを制御し、耐久性に優れた構造物を構築できる構造である。
- 2) PC 構造は、柱本数を減らし、大スパン構造が可能となるため有効な大空間が得られる（有効利用例：漁港荷捌き場、魚市場、スポーツ施設、駐車場など）。
- 3) PC 構造は、耐荷重が大きいので人工地盤に適する。
- 4) PCa 化により、現場の合理化・省力化が容易であり大幅な工期短縮が可能である。
- 5) PCa 化により、地域内の PC 専用工場により大量生産が可能である。
- 6) 基礎から柱の施工まで地元建設業で対応可能であるため、地元還元率が高い地域貢献型である。

があげられる。

3.2 適用案

(1) 居住用人工地盤

津波浸水深が 10 m 以下対応では図 - 4 に示すとおりであり、10～20 m 対応では図 - 5 に示すとおり、中間に大梁を設置する構造となる。



図 - 4 居住用人工地盤のフレーム構造（10 m 以下対応）

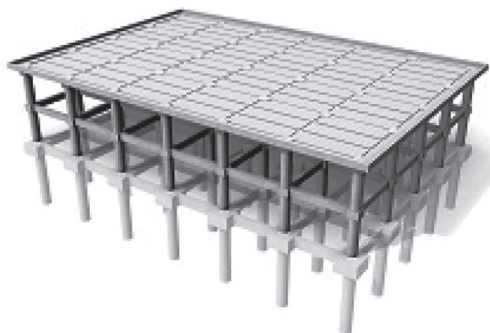


図 - 5 居住用人工地盤のフレーム構造（10～20 m 対応）

地上部の大梁・小梁・合成床版は、PCa 製品とし、杭・基礎・地中梁・柱は現場打ちコンクリートとする。

また、柱は円形断面とし津波荷重や漂流物との衝突低減を図り、津波の通り道を塞ぐような壁は一切設けないこととした。

地上空間は図 - 6 に示すように住居、駐車場、スポーツ広場等に活用できる。

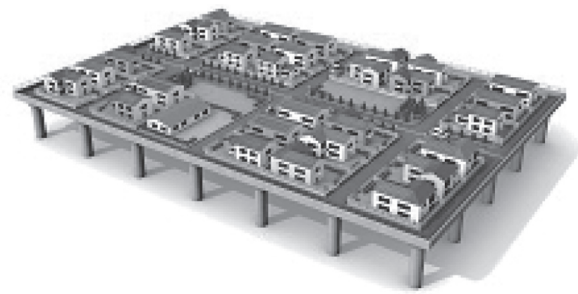


図 - 6 人工地盤上の居住イメージ

(2) 道の駅に併設する避難所

平地には工場や商店などの産業機能などが立地されると、おのずと避難タワーや避難ビルなどが要求される。

これらが充実しきれない時は、土地の確保を手早く対応する方法として公共用地、ここでは既設「道の駅」を利用して避難所を確保することを提案する。

上載荷重が小さいことから図 - 7 に示すとおり直接基礎とした。

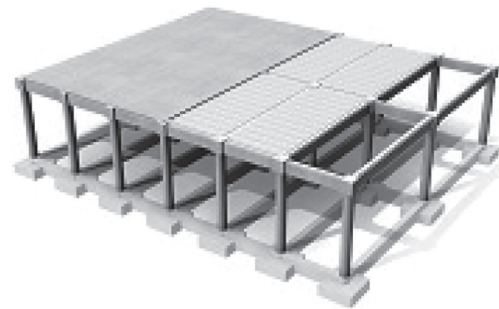


図 - 7 避難所のフレーム構造

図 - 8 のとおり、通常は「憩いの場」などとして市民に開放することができる。

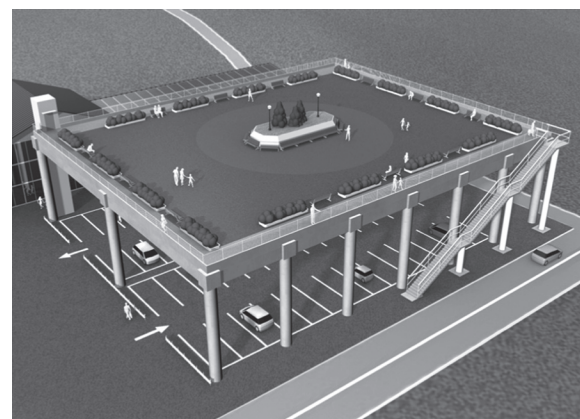


図 - 8 道の駅に併設する避難所

現在、全国的に津波対策として避難ビルの確保が急がれており、全国施策として計画できるものである。

(3) 山沿いの居住用人工地盤

比較的高い山が海岸近くまでせり出しており、高台の確

保が難しい地域にあっては、図 - 9, 10 に示すように、居住用の人工地盤を山沿いに設置し、取付道路の整備と一体的に行う自然改変の少ない工法である。

山側のアバットはグラウンドアンカーで固定し、谷側は直接基礎としており、ブレース材を配置することで構造的に安定させている。

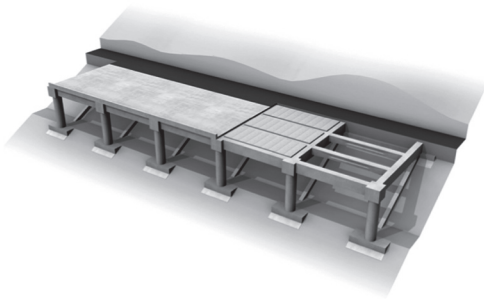


図 - 9 山沿いタイプの構造フレーム

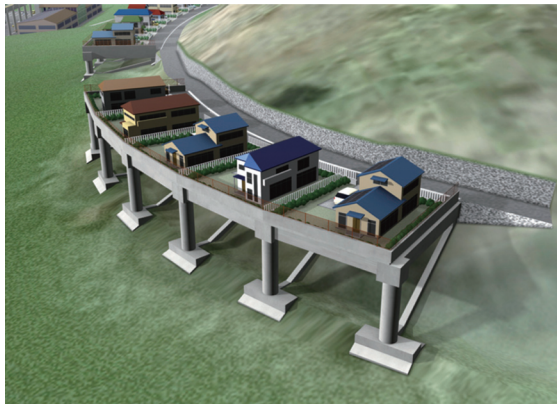


図 - 10 山沿いの人工地盤

(4) 漁港荷捌き場

漁港荷捌き場では空間を広く使用する要求があり、2.1 に示した羅臼、ウトロ漁港がPCaPCの実例である。

ここでも、荷捌きの場として使用方法のほか、避難場所の確保、駐車場など複数の機能を備える。

図 - 11 に、背後に漁業関係者の居住用人口地盤とアクセス道路を配置したイメージ図を示す。

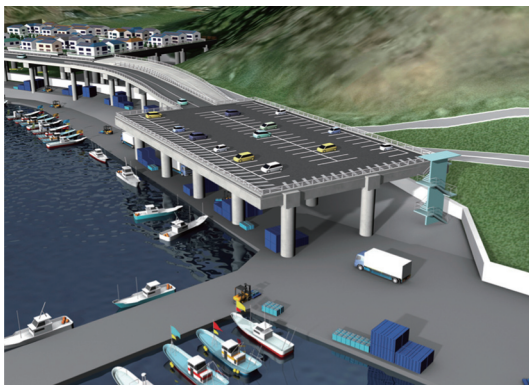


図 - 11 漁港荷捌き場 (その1)

図 - 12 に、漁業関係施設を近接させる必要性から、漁業組合事務所、観光施設などを集約させたビルを整備したイメージ図を示す。



図 - 12 漁港荷捌き場 (その2)

また図 - 12 は、アクセスとしての道路を橋梁構造を同じとして幅員を広げて、荷捌き場および駐車場を提供するもので、係留施設を跨いで構築するなど大スパン (柱間隔を 20 m 以上) の場合などに PC 桁の利用が有効となる。

津波対策橋梁として次の点を考慮した^{4, 5)}。

- 1) プレテンション PC スラブ橋を採用する。
- 2) 連結構造とする (図 - 13)。
- 3) 門型橋脚とする。
- 4) 柱は円形断面とする。

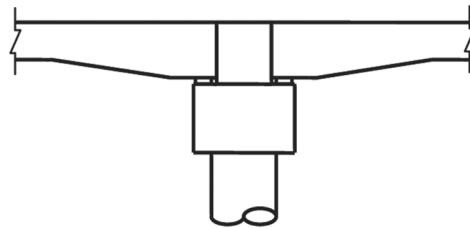


図 - 13 連結部の構造

4. 設計手法

4.1 設計規範

人工地盤の設計は、建築基準法に準拠して行う。しかしながら人工地盤は、現行の建築基準法にはあてはまらない面を多く有している。人工地盤は、その上に構築される住宅等の構造物とは基本的には独立して存在し、おのおのの完成時期が通常は異なってくる。また人工地盤は一つの構造物であると同時に、上部の建物にとっては区分して使用される敷地であり、建築確認上の取り扱いが複雑となる。

そのほか多くの問題があることを踏まえたうえで、ここでは人工地盤の構造設計に着目し、その部分において建築基準法に準拠して設計するものとする。

人工地盤は、上部に計画される住宅なども含め、すべて人工地盤に作用する積載荷重および固定荷重と見なし、それらの荷重が作用する一つの建築構造物とする。

これらの鉛直荷重や地震荷重に対して、人工地盤に求められる要求性能を満足できるように設計する。

4.2 人工地盤に求められる要求性能

建築基準法は、原則として最低の基準を定めたものであるのに対して、本研究で対象としている人工地盤はその用途によりさまざまな性能が求められる。

ここでいう人工地盤は、大きな津波が想定される地域を前提としており、第一義的には津波被害を含めた地震時の安全性が必要となる。人工地盤上に住宅を建設する場合は、どのような住宅または集落を想定し、どのような地震の規模で人工地盤はどのような状態となるのか明確にしておく必要がある。

また防災拠点として使用する場合は、被災後の利用方法を想定して設計しなければならない。

人工地盤は、上部の構造物より耐久性が劣ることは許されない。また、津波の想定される立地条件であることから、塩害に対する耐久性についても要求性能を明確にしておく必要がある。

これらの要求性能は、発注者と十分に協議して決定すべきものであり、いたずらに過剰な設計を行うことは避けなければならない。一例として表 - 4 に人工地盤の各用途に応じた要求性能と設計クライテリアを示す。

表 - 4 要求性能と設計クライテリア

用途		要求性能	設計クライテリア
戸建て住宅を含む小集落	L1	機能維持（無被害）	ひび割れ、残留変形無し
	L2	軽微被害（軽微な修復） 構造強度に影響なし	損傷限界（短期許容応力度設計）
防災拠点	L1	機能維持（無被害）	ひび割れ、残留変形無し
	L2	構造安全性の保持 小破（小規模修復）	安全限界（保有耐力設計） 最大層間変形制限（1/100）
一時的な避難施設	L1	機能維持（無被害）	ひび割れ、残留変形無し
	L2	人命保護、鉛直支持能力保持 中破（中規模修復）	安全限界（保有耐力設計）

L1：まれに作用する荷重

L2：きわめてまれに作用する荷重

4.3 設計外力

(1) 積載荷重

人工地盤の設計を行う場合に、その用途に応じた積載荷重を適切に設定することが非常に重要となる。

人工地盤に作用する積載荷重は、その用途により大きさが大幅に相違し、結果として人工地盤の構造計画もおのずと異なったものとなる可能性がある。

人工地盤の利用目的が当初より固定されたものであれば、それ程問題とならないが、人工地盤が完成した後に、随時住宅が建設されるような場合には、計画段階で住宅の規模や集落プランなど、人工地盤として許容できる範囲を明確にしておく必要がある。これらは発注者と十分に協議して決定すべき事項である。

一例として、本研究報告で想定した積載荷重、躯体自重を除く固定荷重を表 - 5 に示す。

積載荷重は、実況に応じて設定することを原則とする

表 - 5 積載荷重, 固定荷重

用途	固定荷重（躯体自重除く）	積載荷重 (N/m ²)			備考
		床設計用	長期設計用	地震設計用	
戸建て住宅を含む小集落	9 000	12 000	9 000	4 000	2階建て住宅盛土植栽考慮
防災拠点	4 000	12 000	9 000	4 000	消防車乗り入れ考慮
一時的な避難施設	3 000	3 000	2 500	1 500	一般的な屋上広場荷重

が、建築基準法施工令第 85 条に規定する建築物の各部については同条に示す値を用いてもよい。

(2) 地震時揺れによる外力

地震時揺れによる外力は、地域特性や地盤特性を評価して設定する。大スパン構造物においては、地震時上下動に留意して鉛直地震外力に対しても検討を行う。

(3) 津波荷重

津波荷重は、計画地域で観測された最大津波高さを基準に設定する。

なお、津波浸水深は周辺の建物状況などにも左右されるため適切なシミュレーションを行ったうえで、決定することが望ましい。

設計津波荷重については、設計式を示した文献⁶⁻⁸⁾などがあるが、今回の東日本大震災で被災した結果による検証はこれからであり、合理的な設計式の提示はそれらを待たねばならない。

10 m を超えるような大きな津波や、受圧面の小さい純ラーメン構造にそのまま適用できるのか、課題としてあげられる。

一つの考え方として、純ラーメンの場合は、道路橋の橋脚に作用する流体圧と同様な荷重と見なして設計する方法も考えられる⁹⁾。

なお、人工地盤面の高さは想定津波の最大高さ以上を確保することが前提となる。

(4) 漂流物衝突荷重

今回の大震災では、津波荷重による被害と同時に船舶等の漂流物の衝突による建物被害も多くは発生した。

漂流物の衝突荷重に対する設計については、文献¹⁰⁾にある。同文献が対象としている構造物は、本報告で考えている構造方式と同じ PCaPC 造である。

それによれば、20 t クラスの漁船の衝突であれば、地震時揺れによる外力で決まる保有耐力が確保されていれば安全であることが示されている。

しかしながら、津波との同時作用や漂流物の津波荷重負荷などの設計条件の整備が現段階では不十分であり、その結論を待たねばならない。

4.4 構造計画

人工地盤を計画する場合に、津波発生時に津波が地盤面下を極力抵抗を受けずに通過できるようにしておくことが、人工地盤およびその上部構造物の被害を小さくする合理的な方法といえる。そのために人工地盤の架構方式は純ラーメン構造が適しており、また柱は津波荷重に対する抵抗の少ない円形断面が良い。

また今回の大地震で経験した津波の大きさを考えると、人工地盤面はかなりの高さが必要となる。通常期には人工地盤下の空間を有効に活用することが、人工地盤の利用度をアップする手だてとなる。漁港における荷捌き場・市場、資材置き場、駐車場、遊技広場などさまざまに考えられる。空間の有効な活用を考えた場合、柱は極力少ない方がよい。

以上のごとく、積載荷重の大きさ・多様性、大スパン、高耐久性を考えると、本報告が奨めるPCaPC構造は最適な構造方式である。

なお階高が高くなると、構造部材の大きさも非常に大きくなる。経済性を考慮して、本報告では10m以上の階高では中間梁を設けるものとする。

また柱については、PCaまたは現場打ちの両方が考えられるが、部材の重量からクレーン揚重の問題があることや、梁部材を工場製作している間に現場施工が可能で工期短縮上、支障とならないことから柱は現場打ちとする。

なお、柱スパンが20mを超えるような大スパンの下部空間が必要な場合には、一般的なラーメン構造のほかに主桁を敷き並べた栈橋形式¹¹⁾も経済的な構造方式として提案できる。

また住宅建設の用地に乏しい傾斜地に、人工地盤を構築することも、PCaPC造では短かい工期で可能である。

5. 津波対策まちづくり

建築物はいわば面の提供である。復興にあたっては、同時に動線の確保が重要である。

平地での人工地盤の計画にあたっては、いくつかのユニットを集合させた新しいコミュニティ（集落）が形成される。そこでは近接してショッピングセンター（道の駅）を設けて住民のアメニティーを高める必要もある。アクセス道路としての高架橋も必要となる。副次的に橋面はそのまま避難場所としてきわめて重要であり、随所に非常用昇降階段を設置することも有効である。また、生活基盤としてのインフラであるガス・水道管などを高架橋に添加することも有効である。

図 - 14 に集約させたイメージ図を示す。

本文で提案する5つの構造をモデル被災地にあてはめて全体像を示したのが図 - 15 である。

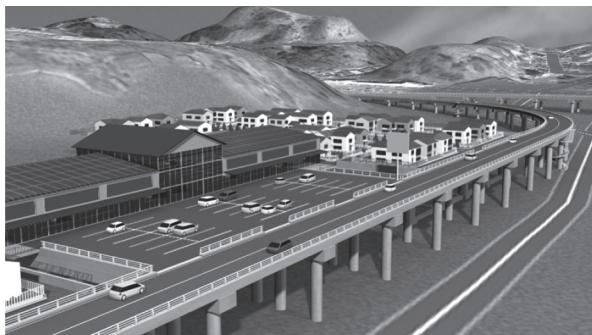


図 - 14 人工地盤による集約施設のイメージ

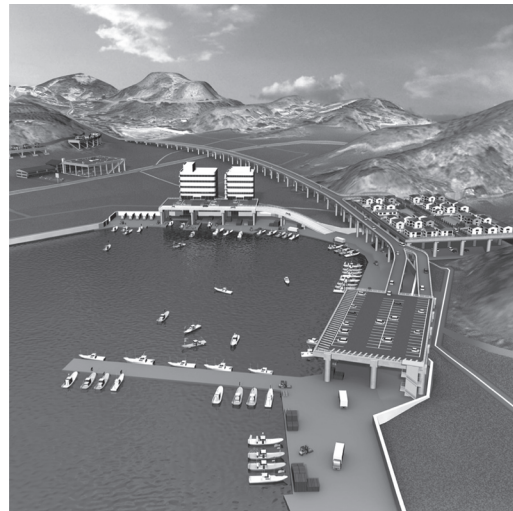


図 - 15 モデル被災地の復興イメージ

6. おわりに

本報告におけるPC技術を活用した人工地盤が、復興に向けた具体的な計画において一助になることを期待したい。なお、構造計算に触れていないため、構造部材の寸法については割愛させていただいたが、基本となる柱間隔は図 - 4～6については15m、図 - 7～8については17m(7m)、図 - 9～10については12m、図 - 11については15m、図 - 12については20mである。

被災地では、復興に向けて力強く踏み出そうとしています。土地利用の手法システムがいち早く整理され、一日でも早く復興に進むことを願っております。

最後に、犠牲となられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

参考文献

- 1) 東日本大震災復興構想会議：復興への提言，2011
- 2) 北海道開発局：平成21年度水産基盤整備事業
- 3) 岩手県：岩手県東日本大震災津波復興計画復興基本計画（案），2011
- 4) 西垣義彦：PC橋の被災状況と復旧・復興に向けた地震津波対策，土木施工，2011，Sep. Vol.52. No.9
- 5) 西垣義彦：PC橋の調査報告と今後の防災対策，コンクリートテクノ，Vol.30，No.9，Sep. 2011
- 6) 岡田恒男，ほか：津波に対する建築物の構造設計法について－その2：設計法（案）－，ビルディングレター，pp.1～8，2004.11
- 7) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン，平成17年6月
- 8) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，pp.43～44，平成14年3月
- 10) 北海道開発局農林水産部須永純史，ほか：津波漂流物の衝撃力を考慮した人工地盤の設計について
- 11) 財 沿岸技術研究センター：PC栈橋技術マニュアル（2010年版），平成22年9月

【2011年9月7日受付】