

橋梁基礎地盤調査における地質リスクの事例研究

宮島圭司

会員，株式会社中部ウエルボーリング社

Case study on risk of geological investigation for bridge foundation rock

MIYAJIMA Keiji

Member, Chubu Well Boring Company

要旨：橋梁基礎地盤調査における地質リスクを検討するため，中小橋梁および長大橋梁基礎の事例研究をおこなった。大部分の橋梁基礎において，地質予測の過大/過小評価が認められて地質リスクが発現した。その結果，コスト増が生じている。地質条件が複雑な場合に地質予測のずれが大きくなるので，基礎地盤の地質調査法および解析法の改善が必要である。

キーワード：地質リスク，橋梁基礎地盤，地質予測と実績，過大/過小評価，コスト損失

Abstract: Geological risk of bridge foundation rock is discussed on the basis of case study for short-span and long-span bridges. Over/underestimation of geological and geotechnical conditions arise for most of studied bridge foundations and this geological risk often produce cost loss. Because difficult geological conditions cause noticeable estimation error of bridge foundation rock, improvement of investigation and analysis method is necessary.

Keywords: geological risk, bridge foundation rock, geological estimation and practice, over/underestimation, cost loss

1. まえがき

土木構造物を対象とする地質調査において，地質条件の把握における不確実性の影響により工事費の増大，工期の遅延などが生じることがある。このような地質に関係する事業リスクを地質リスクと認識し，リスクマネジメントを行おうという機運が高まってきた。「地質リスク」の定義には，さまざまなものがあり，前述の定義は，地質リスク学会・全国地質調査業協会連合会（2010）によるもので，さらに続けて，事業コスト損失そのものとその要因の不確実性を指すとしている。脇坂（2009）は，土木地質におけるリスクを「望ましくない地質事象の生起確率とその大きさ」と定義

するが，ただ望ましくない事象の大きさ/または生起確率が未定の場合が多いので，「土木地質の不確実性」と呼ぶべきであろうとしている。また，フィールドの達人編集委員会（2007）では，土木地質に限っていえば，リスクとは「プロジェクトにおける期待値からのはずれ量」であり，「想定地質からのはずれの程度と内容」と言い換えることができるとしている。

筆者はかつて，四国地方建設局（現四国地方整備局）が施工した山地部道路工事において発生した中小橋梁の基礎工事のトラブルと事前地質調査の問題を考察し，四国地方建設局の部内資料として報告した（宮島，1970）。また，本州四国連絡橋の長大橋梁基礎の支持地盤に対する事前調査にお

ける地質評価と施工実績との関係を検討し、土質工学研究発表会で報告している(福永ほか, 1992)。これらの橋梁基礎地盤における事前評価と施工実績との関係を、地質リスクの視点から若干の分析と考察をおこなった結果を述べる。ここでいう地質リスクは、前述の諸定義を参照し、橋梁基礎地盤における想定地質からのはずれの程度・内容とそれによる事業コスト損失を指すものとする。

2. 中小橋梁基礎地盤の地質調査による地質予測と実績事例

2.1 研究対象橋梁の概要と地質調査

研究対象としたのは、四国地方建設局が施工した高知県西部の一般国道改良工事における橋梁基礎の地質調査である。対象地域は四万十帯に属し、大正層群が分布する。海岸低地から内陸台地に上る延長約 6.5 km、標高差約 300 m の山岳道路 (2 車線) であるため、橋長 25~100 m の橋梁が 10 箇所設計された。橋梁基礎の地質調査としては、橋台及び橋脚の中心線上で、原則として 1 基あたり 1 本のボーリング調査をおこなって下部工の設計・施工が実施された。

2.2 地質調査結果と施工実績

研究対象とした橋梁基礎で実施した地質調査結果の概要と下部工設計数量及び施工実績との関係をまとめると、表 1 のようになり、すべての橋梁基礎で設計変更が行われている。表 1 の下部工変更概要欄の記事によると、各橋梁基礎において床掘土量、コンクリート量、工費が変更されている。床掘について当初計画数量と実績掘削土量を比較すると、実績は当初計画より 0.63~2.64 倍増加している。1 橋において床掘の実績が 0.63 倍となったのは、基礎型式が直接基礎から場所打ち杭基礎

に設計変更されたため、掘削土量が減少したものであり、それ以外の 9 橋の床掘土量の実績は平均 1.36 倍の増加となっている。

コンクリート量について当初計画と施工実績とを比較すると、施工実績は当初計画の 0.98~1.37 倍となっている。このうち、1 橋については 0.98 倍となっているが、これは橋台型式を重力式から扶壁式に設計変更したためであり、それ以外の 9 橋については、平均 1.18 倍のコンクリート量の増加となっている。その結果、工費については、いずれの橋梁においても当初計画より実績工費が、1.09~1.71 倍に増加した。

2.3 地質リスクの考察

このように研究対象としたすべての橋梁において、基礎地盤の地質条件が予測と実績でかなり異なり、予測のずれが大きかった。これは、架橋地点が大正層群の付加体形成に伴う序列外衝上断層帯 (OST) に位置し (坂口ほか, 2006)、断層の発達ゾーンによる影響を受けたことによると推定される。その結果、各種の設計変更が行われており、地質リスクが発現している。

下部工工費が増加した主な理由は、表 1 の記事欄に記載したように、第一は基礎根入れ深度の変更による床掘掘削土量とコンクリート量の増大である。変更数量の多い所や基礎型式・工法変更などを行った地点は、事前のボーリング調査により地質条件が不良と予測された箇所だけでなく、地質上の問題が少ないと判定された箇所でも発生している。したがって、研究対象地域では少数のボーリング調査で基礎地盤の地質状況を予測することが難しかったと判断される。第二には、下部工および上部工の再設計を行う橋梁がでてきたことである。すなわち、K7 橋では橋台のタイプを重力式から扶壁式に設計変更し、K8 橋では、当初橋長

表 1 橋梁基礎地盤調査と下部工の施工実績総括表

橋名	橋長 (m)	下部構造		ボーリング 調査 箇所	ボーリング 調査 延長(m)	地質条件(予測)	下部工変更概要				記 事	
		橋台	橋脚				床掘(m ³) 当初実績	コンクリート(m ³) 当初実績	工費(千円) 当初実績			
										当 初 実 績		実 績
K 1	25	重力式 直接基礎		2	19.5	あまり風化しない砂岩 地質上の問題はない	1000	639	648	5686	6370	基礎根入れ変更
K 2	30	重力・扶壁 式、直接基礎		2	16	風化した砂岩・泥岩 支持層の検討が必要	1560	1023	1065	9422	10297	A2橋台の型式変更 基礎根入れ変更
K 3	30	重力式 直接基礎		2	21.5	泥岩及び砂岩泥岩互層 表層部は風化	550	434	514	3298	4182	基礎根入れ変更
K 4	35	同上		2	18	砂岩・泥岩。割目多く 地質条件は不良	580	696	888	4823	6731	同 上
K 5	100	同上	壁式 2基 直接基礎	3	28.5	砂岩主体。起点側は 割目多く、地質不良	6090	2092	2191	31082	32748	同 上
K 6	40	同上	壁式 1基 直接基礎	4	38.5	砂岩を主とする 地質上の問題はない	930	821	1037	6802	7998	同 上
K 7	65	重力・扶壁 式、直接基礎	壁式 2基 直接基礎	3	24	泥岩が主体。表層風化 するが、問題は少ない	2350	1408	1393	13305	15085	A1 橋台の型式変更 基礎根入れの変更
K 8	40	重力式 直接基礎	ラーメン式 2基、場所打 杭	4	57	泥岩及び砂岩泥岩互層 割目多く、地質不良	1140	747	939	5874	10027	橋長及び支間割の変更 直接基礎→場所打杭
K 9	75	同上		2	20	砂岩泥岩互層。割目は あるが、問題は少ない	1600	1015	1171	7937	9629	基礎根入れ変更
H	58.4	重力式 場所打杭	壁式 2基 場所打杭	6	64	砂岩、泥岩は強風化し、 地質条件は不良	940	722	992	8796	15016	杭長の変更・増大 鋼杭→場所打杭

注) 工費は1970年時点の金額を示す

20 m (1 スパン) の上部工型式を橋長 40 m (3 スパン) と大幅に設計変更し、基礎工数量及び基礎型式も変更している。H 橋についても橋長、基礎型式が変更されているため、それぞれ再設計のための費用が増加している。

このように研究対象とした10橋のうち4橋の基礎設計については、根入れの変更だけでは掘削地盤の地質に対応できず、基礎や駆体型式を変更している。このことは、地質や岩質が複雑に変化する山地部の橋梁基礎地盤の工学的性質を少数のボーリング調査で的確に予測することが困難な場合が多いことを示している。また、このような各種の設計変更に伴う工期遅延については、研究対象とした道路工事が複数年度にまたがる国庫債務負担工事として発注されていたため、全体工事工程のなかで吸収することができた。もし、単年度工事でこのような設計変更が生じたならば、工期延長は避けられなかったと思われる。

3. 長大橋梁基礎地盤の地質調査による地質予測と実績事例

3.1 研究対象とした橋梁の概要

長大橋梁基礎の事例研究の対象橋梁は、本州四国連絡橋児島・坂出ルート of 南備讃瀬戸大橋、尾道・今治ルート of 因島大橋及び伯方・大島大橋である。これら3橋の架橋地点の地質は、いずれも領家帯に属し、広島花崗岩または領家花崗岩が分布し、これらの風化した花崗岩を橋梁基礎の支持地盤としている。研究対象とした各橋梁の概要を表2に示す。

南備讃瀬戸大橋の基礎は、2基のアンカレイジと2基の主塔橋脚基礎よりなり、すべて海中基礎となっている。アンカレイジは長さ(橋軸方向)57~75 m、幅(橋軸直角方向)59~62 m、主塔橋

脚基礎は長さ27~38 m、幅59 mの寸法をもつ大型構造物である。因島大橋の基礎は、2基のアンカレイジと2基の主塔橋脚基礎よりなり、アンカレイジは陸上の気中基礎、主塔橋脚基礎は汀線部の締切基礎である。アンカレイジは、長さ60~62 m、幅41 m、主塔橋脚基礎は長さ16 m、幅39 mの規模をもつ。伯方・大島大橋を構成する伯方橋の2基の海中基礎は、長さ10 m、幅16 mの寸法をもつ。大島大橋のアンカレイジは、長さ46 m、幅35 mの気中基礎である。主塔橋脚基礎は長さ11~13 m、幅36 mの汀線部の締切基礎となっている。このように、研究対象とした3橋の基礎寸法は、橋梁の規模に応じてかなり大きく変動する。

3.2 橋梁基礎地盤の地質調査と確認方法

本州四国連絡橋の大部分の基礎は海中に建設されるため、事前調査段階における地質調査はボーリング調査が主体となった。ボーリングコアの肉眼観察、コアの室内試験を実施するとともに、ボーリング孔を利用した孔内載荷試験、物理検層、孔間速度測定結果などを総合的に検討・評価して基礎地盤の岩級区分をおこない、基礎の設計用地盤モデルを作成した。基礎の設置深度は、岩級分布を示す多数の地質断面図、水平地質断面図を作成・検討して定めている。ボーリングは、基礎構造物の計画位置付近に15~30 m間隔の格子状に配置し、橋軸及び橋軸直角方向の地質断面図が精度よく作成できるようにした。ボーリング掘削深度は、地盤内応力が基礎底面反力に比べて十分小さくなる基礎幅の1~2倍程度の範囲とすることを基本とした。各橋梁基礎において、ボーリング1本がカバーする平均面積、すなわちボーリング密度は、南備讃瀬戸大橋では120 m²/本、因島大橋及び伯方・大島大橋では、60 m²/本程度である。

施工段階における橋梁基礎の支持地盤の確認方

法については、気中掘削や締切掘削の場合は、肉眼観察判定と支持力確認のための原位置載荷試験が実施された。海中基礎の場合は、直接的な確認検査の実施が困難なため、潜水観察、ビデオ撮影記録にもとづく判定や掘削ずりの観察が主体となり、水中弾性波探査、削孔速度記録なども判定資料としている（山県・宮島，1985）。

3.3 橋梁基礎地盤の事前評価と施工実績との関係

研究対象とした3橋について、前述の事前調査にもとづく地質評価と施工時の確認調査による実績との関係を検討するため、基礎底面における岩級分布面積比（%）の事前評価と施工実績についてまとめた結果を表3,4に示す。事前調査による地質評価が適切であったかどうか、すなわち予測のはずれの程度を判定する指標として、ここでは平均E値を用いた。これは研究対象橋梁の基礎の設計のため設定された岩級別変形係数と基礎底面における各岩級分布の面積比より加重平均して求めた変形係数である。事前調査段階での各基礎の平均E値と施工段階で得られた平均E値をそれぞれ比較することにより、事前調査における基礎地盤の地質評価が適切であったか、あるいは過大/過小評価であったかを判定することにした。平均E値の算出に用いた岩級別の変形係数は、兎島・坂出ルートと尾道・今治ルートで異なり、それぞれCH級2000（1200）MPa、CM級1000（600）MPa、CL級500（300）MPa、D級250（150～20）MPaである。ここに、（ ）内の数値は因島大橋と伯方・大島大橋の設計値である。

表3,4に示す13基の橋梁基礎の事前評価と施工実績による平均E値を比較するため予測適合度を表示した。これは実測平均E値と予測平均E値の比である。1基の基礎については、事前評価と施工実績の平均E値がほぼ一致し、平均E値を過大

評価したものが8基、過小評価したものが4基となった。過大評価していた8基の事例によると、伯方・大島大橋5P基礎以外の7基の基礎の施工実績は、事前評価による平均E値より20～25%程度低下しているため、岩級別変形係数の評価で半ランク程度低下していることになる。伯方・大島大橋5Pの施工実績は、事前評価による平均E値の約50%と大幅に低下しており、岩級が1ランク低下している。その原因については3.4.1で考察する。

平均E値を過小評価した4基の事例をみると、南備讃瀬戸大橋7A以外の3基の基礎については、施工実績による平均E値が事前評価のときより26～68%増加しており、岩級別変形係数による評価で半ランク程度上昇したといえる。南備讃瀬戸大橋7Aについては、施工実績による平均E値が事前評価のそれと比べて2.4倍と大きく、岩級が1ランク以上高くなったことになる。その原因については3.4.1で考察する。

以上の結果をまとめると、事例研究の対象とした本州四国連絡橋基礎地盤の地質評価については、事前評価段階で過大/過小評価した事例が多く認められるが、大部分の事例は半ランク程度岩級を過大/過小評価した結果となった。

なお、谷中ほか（1995）は、尾道・今治ルートの来島大橋に築造された大型海中基礎（4A）の基礎地盤における岩級分布の事前評価と実績を示している。この資料を用いて平均E値を算出すると、施工実績にもとづく平均E値は、事前評価の平均E値より24%低下しており、研究対象とした13基の基礎の事例と同様の傾向が認められた。

表 2 研究対象橋梁の概要

橋梁名	橋梁型式	橋長(m)	中央支間長(m)	基礎型式	支持地盤
南備讃瀬戸大橋	吊橋	1648	1100	設置ケーソン	領家花崗岩
因島大橋	吊橋	1270	770	直接基礎	広島花崗岩
伯方・大島大橋	桁橋・吊橋	325+840	145,560	ケーソン, 直接基礎	領家・広島花崗岩

表 3 南備讃瀬戸大橋及び因島大橋支持地盤の事前評価と施工実績

橋梁名	基礎	C H	CH~CM	C M	CM~CL	C L	CL~D	D	その他	平均E値	予測適合度
南備讃 瀬戸大橋	B B	12.12		43.51		27.59		10	6.78	840	0.82
	4 A			31.72		58.71		9.57		689	
	B B	0.77		7.95		71.67		18.71	0.9	501	1.68
	5 P	2.56		51.95		42.4		3.1		841	
	B B	1.24		24.76		69.14		4.86		630	1.37
	6 P	14.45	2.47	11.24	29.88	38	3.96			866	
	B B					43.22		30.9	25.88	325	2.36
7 A	0.99		52.88		40.69		5.44		766		
因島大橋	I B		23.45	45.11	7.98	19		1.56	2.91	580	1.26
	1 A	17.84	25.73	36.61	6.6	11.85		0.04	1.33	729	
	I B	42.26		57.34						856	0.8
	2 P	16.97		76.08	4.45	2.5				688	
	I B	22.52	8.11	21.2	44.07			4.1		675	0.75
	3 P			44.29	45.77	8.53		1.41		504	
	I B		11.87	71.95	11.34	4.84				604	1.05
	4 A	4.76	8.61	79.83	1.52	5.28				636	

注 1) 上段：事前評価、下段：施工実績 注 2) その他：B級及び断層破碎帯

注 3) 平均E値の単位：Mpa 注 4) 予測適合度：実績平均E値/予測平均E値

表 4 伯方・大島大橋支持地盤の事前評価と施工実績

基礎	C H	CH~CM	C M	CM~CL	C L	CL~DH	D H	DH~DM	D M	DM~DL	平均E値	予測適合度
H B					32		40		28		180	0.8
2 P						27	44	19		10	144	
H B							100				150	0.89
3 P							73	27			133	
H B			37		25		11		27		335	0.82
4 A			24		31		1	44			276	
H B	53.5		0.5		36.5				9.5		762	0.49
5 P		8	26.5		27.5		38				370	
H B	48.5		51.5								891	0.8
6 P	34		37		29						717	

注 1) 上段：事前評価 下段：施工実績 注 2) 平均E値の単位：Mpa

注 3) 予測適合度：実績平均E値/予測平均E値

3.4 地質リスクの考察

3.4.1 想定地質・岩級が著しく異なった橋梁基礎地盤の考察

(1) 南備讃瀬戸大橋アンカレイジ 7A

本アンカレイジ計画海域で実施したボーリング調査によると、コアの採取率が著しく低下した部分が多くあり、この部分を断層破砕帯と評価して地質断面図と岩級分布図を作成した。しかし、基礎の掘削結果によると、断層破砕帯はほとんど認められなかったため、基礎地盤の事前評価が著しく過小となってしまった。ボーリングコアの採取率が低かったのは、7A 地点の海上ボーリングを実施した 1972～1973 年当時は、ボーリング調査の技術レベルが現在より低く、風化花崗岩のサンプリングが難しかったためと考えられる。その後、コアパック法サンプラーや気泡ボーリング工法などのサンプリング技術が開発され、サンプリング技術が進歩したので、現在であれば同様の地質条件をもつ基礎地盤の地質評価リスクは軽減できると考えられる。

(2) 伯方・大島大橋主塔橋脚 5P

5P 地点は、広島花崗岩と領家花崗岩の分布境界付近に位置しており、両岩体が複雑に分布するため、岩盤風化状況も複雑で不均質な状況を呈している。5P 地点のボーリング調査結果では、風化程度の弱い CH 級岩盤がコアの 50% 近くを占めたが、基礎掘削の結果では D 級岩盤が 40% 近く出現したため、基礎地盤の著しい過大評価となってしまった。このように複雑な地質構成をもつ岩盤では、通常のパターンよりボーリング調査密度をあげないと基礎地盤の的確な事前評価が難しいと考えられる。

3.4.2 地質リスク発現に伴う設計変更

(1) 想定岩級のはずれ程度と設計変更

研究対象とした 13 基の橋梁基礎地盤における

想定岩級がはずれて、過大過小評価した事例が 12 基であった。その内訳は、過大評価した基礎が 8 基、過小評価した基礎が 4 基であるが、大部分の基礎は岩級で半ランク程度の過大過小評価である。この程度の岩級のばらつきは、基礎の設計では想定範囲内として安全率などに織り込まれているため、後述する伯方・大島大橋 4A 以外の基礎については、設計変更は行われていない。伯方・大島大橋 5P の基礎地盤の岩級については、著しい過大評価であり、C 級岩盤を主体とするとされた当初想定と異なり、DH 級岩盤が多く出現し岩級が 1 ランク低下した。尾道・今治ルートが強風化花崗岩で実施した原位置支持力試験結果から DH 級岩盤の支持力が確認されている（宮島ほか、1982）。その結果によれば、伯方・大島大橋 5P 基礎は支持安全率をクリアできるので、基礎底面の盤下げなどの設計変更は行われなかった。

南備讃瀬戸大橋 7A の基礎地盤については、想定岩級が著しい過小評価であり、掘削地盤は当初の想定より 1 ランク上位の岩級であったが、当初の基礎底面深度は変更しなかった。その理由は、南備讃瀬戸大橋の 4 基の海中基礎は、いずれも事前調査結果にもとづき基礎底面深度を定めて工場製作した鋼製ケーソンを、現場海域に曳航・沈設する設置ケーソン工法を採用したことによる。また、設置ケーソン工法によるケーソンの設置面は岩盤表層部を選定しているため、設置深度を当初計画より浅くすることはできなかった。

(2) 伯方・大島大橋アンカレイジ 4A の設計変更によるコスト増

伯方・大島大橋 4A 基礎の掘削地盤の岩級は、当初想定した岩級より半ランク程度低下した。1610 m² の掘削基礎底面に C 級と D 級岩盤が不均質に分布するとともに D 級岩盤の占有面積が広いので、D 級岩盤の変形性が問題になった。強風化

したD級花崗岩は、前述した支持力試験結果より支持力は期待できるが、同時に変形量が大いので、4A基礎のように大規模な基礎の地盤変形について再解析した結果、不同沈下が問題になることが判明した。そのため、D級岩盤の分布域で6箇所の短尺ボーリングを行ってCL級岩盤の出現深度を確認した。その結果、基礎底面を2m盤下げし基礎底面がすべてCL級岩盤となるように設計変更した(高島ほか, 1984)。この設計変更に伴い、追加ボーリング調査、変形再解析、盤下げ掘削、躯体コンクリート追加打設などのコストが増加した。設計変更に伴う工期遅延については、本工事が複数年度にまたがる債務負担工事であったため、全体工程のなかで吸収され、問題は生じなかった。

4. まとめ

橋梁基礎地盤における想定地質や岩級のはずれの程度・内容と設計変更によるコスト損失を地質リスクと考え、高知県の国道に架けられた中小橋梁と本州四国連絡橋の長大橋梁による事例研究を行い、地質リスクを考察した。その結果をまとめると次のようになる。

- (1)中小橋梁でも地質条件に応じて地質調査数量を適切に定める必要がある。基礎地盤が付加体のメランジュや断層破碎帯、異種岩石の接触境界など土木地質上の問題が予想される場合は、ボーリングなどの地質調査数量を増やさなければ、想定地質と実際が大きく異なり地質リスクが発現する。これまでは最小限の地質調査にもとづき、標準的な設計で工事を発注し、現場条件にあわせて設計変更するという考え方が多かったが、このような方法では一般社会の理解を得ることが難しく、説明責任を果たすことができなくなる。
- (2)長大橋梁では、中小橋梁よりボーリング調査密度をあげて基礎地盤調査を行い、想定地質・岩級

のはずれ程度を少なくするようにしている。海峡連絡橋などで海中基礎が建設される場合は、設計変更が困難な場合が多いので、大きな地質リスクが発現しないよう地質調査計画を慎重に検討する必要がある。

(3)本州四国連絡橋の事例では、ボーリング調査による基礎地盤の想定岩級のはずれは、半ランク程度の過大/過小評価の事例が多く、大部分の基礎は設計変更をする必要はなかった。しかし、半ランク程度の評価誤差であっても設計変更した事例や1ランク程度の評価誤差があっても設計変更しなかった事例も認められた。地質リスクは想定岩級のはずれ程度だけでなく、はずれの内容によっても異なる様相を呈する。

(4)基礎地盤で実施されたボーリング資料により作成する3次元的地盤モデルの精度をあげて地質リスクを少なくするためには、ボーリング孔間速度測定を行いジオトモグラフィ解析結果と岩級分布との対応をつけるとか地球統計法のクリギング手法により3次元的地質分布を推定する(林・太田, 2008)など新しい調査・解析技術の導入を検討する必要がある。

5. おわりに

事例研究の対象とした中小橋梁及び長大橋梁は、いずれもかなり以前に施工されたものである。しかし、現在でも本事例研究と同様の地質リスクが発現する場合が少なくないと思われる。わが国の地質・岩盤は複雑であり、その不確実性のため限られた予算のなかで行われる地質調査では地質リスクを完全に避けることは難しいであろう。地質調査の精度向上を図るとともにリスクマネジメントの考え方を取り入れて、対象構造物に想定外の地質リスクが発生し、建設コストや工期が著しく増大するような事態の発生は避けるように努める

べきであろう。

参考文献

福永 勤・山田勝彦・宮島圭司 (1992) : 海峡部橋梁支持地盤の事前評価と実績の比較. 第 27 回土質工学研究発表会講演集, 209-210.

フィールドの達人編集委員会 (2007) : 土地質の達人になる, 第 21 回予測できること, できないこと—地質現象とリスク評価—. 土木施工, 48, 9, 858-865.

林 義信・太田英将 (2008) : 3次元モデルを用いた地盤調査リスク評価事例. 応用地質 48, 6, 299-303.

宮島圭司 (1970) : 山地部道路工事における地質上の諸問題. 第 13 回四国地方建設局技術研究会論文, 44-53.

宮島圭司・山田勝彦・石川浩次・福田健一(1982) : 強風化花崗岩の支持力特性について (その 2). 第 17 回土質工学研究発表会講演集, 641-644.

坂口有人・橋本善孝・向吉秀樹・横田崇輔・高木美穂・菊地岳人 (2006) : 沈込みプレート境界地震発生帯破壊過程と流体移動: 高知県西部白亜系四万十帯, 興津, 久礼, 横浪メランジュ. 日本地質学会第 113 年学術大会 見学旅行(E班)案内書.

高島 豊・重村公登・宮島圭司・城ヶ崎勝美 (1984) : 橋梁基礎地盤における支持力確認調査の実施例. 第 19 回土質工学研究発表会講演集, 87-90.

地質リスク学会・全国地質調査業連合会 (2010) : 地質リスクマネジメント入門. オーム社.

脇坂安彦 (2009) : 地質のリスクマネジメント. 土と基礎, 57, 2, 10-13.

山県 守・宮島圭司 (1985) ; 本四連絡橋における海底地盤調査. 日本応用地質学会 昭和 60 年

度シンポジウム予稿集, 17-22.

Yanaka,Y., Hasegawa,Y. and Masui,N.(1995): Inspection and confirmation for undersea foundation rock of Kurushima Bridges.Rock Foundation, 439-442, A.A.Balkema.