

中国地方の土質工学—現地事例に学ぶ—

Geotechnical Engineering in Chugoku Area—Some Case Studies—

河 野 伊一郎 (こうの いいちろう)

岡山大学教授 工学部土木工学科

1. ま え が き

建設工事からみた中国地方の土質と基礎の特徴は、

- (1) 山岳部から丘陵部にわたって広く分布する花崗岩とその風化残積土であるまさ土、
- (2) 瀬戸内海沿岸の沖積平野に堆積している軟弱粘土層、
- (3) 山陰地方、特に鳥取砂丘で代表される砂地盤とその背後地の有機分を含む軟弱粘土層、
- (4) 丘陵部に分布する第三紀層地帯における地すべりと中央盆地を中心とする地域に分布する変成作用を受けた岩盤（斜面）における切土、トンネル工事、
- (5) 大山の噴火活動等によって生成された大山ローム地盤、秋吉台に代表される石灰岩地帯や鉱物資源採掘の対象となった山岳部での切土やトンネル工事と環境アセスメント、
- (6) 沖積粘土層の下位に堆積している砂礫層中の被圧地下水、

などである。

上記のように、中国地方の地盤とそこで実施される工事が抱えている土質工学上の問題は、一部の事例を除いた日本各地域の地盤が有している事例のほぼすべてにわたるといって過言ではないようである。

さて、中国地方の地形、地質特性や各県の地盤特性については別稿に詳しく紹介されるので、本文では、筆者の経験から、中国地方で既に実施された建設工事例に基づいて、失敗例を中心にそこで提示されたいくつかの土質工学的な問題について概要を紹介する。特に、まさ土の盛土地盤の浸水沈下、沖積粘土地盤の沈下、地下水揚水と酸欠問題、トンネル

掘削と環境アセスメント、大規模地すべり等について述べる。事故や失敗は避けねばならないのは当然であるが、そうした事例は土質、地盤特性を把握する上でも貴重な情報を提供していると考えられる。

2. まさ土の盛土地盤と浸水沈下

中国地方の地質特性の一つは、近畿、四国地方とともに花崗岩地帯の占める割合が非常に高く、全面積の20～30%にも及ぶことである。ちなみに、瀬戸大橋（岡山～坂出ルート）の基礎岩盤はすべて花崗岩であり¹⁾、山陽新幹線、山陽自動車道のトンネルも花崗岩盤中に数多く施工され、また多くの造成地ではまさ土が使用されている。したがって花崗岩、まさ土に関する土質工学上の問題は少なくない。

2.1 不同沈下によるH社屋の倒壊例

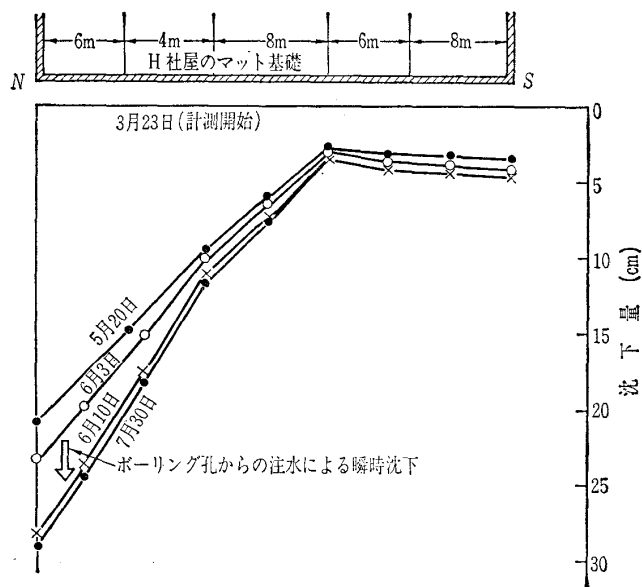
1982年から1984年にかけて、岡山県南の標高約100mの瀬戸内面と呼ばれる第四系更新統の丘陵部で約2000万 m³の切土盛土の大土工を伴う土地造成が行われた。

この堆積丘陵部では花崗岩の貫入部分があり、その花崗岩を含むまさ土の切土と同材料を谷部へ埋め立てる工事が行われた。谷部の埋立て深さは約30mに及び、ここで浸水沈下が発生した。

この花崗岩とまさ土の埋立地盤上に、H社の鉄筋3階建ての社屋が布基礎（マット基礎）で建造されたが、建造直後から不同沈下が発生し、数か月で社屋は倒壊に至ったのである。

その後のボーリング調査等の結果、G.L. -10～-15m 付近に直径30～100 cmの転石が多数混入されており、その直上部の盛土地盤が非常に緩い状態となっていることが判明した。特に図-1に示すよう

総 説



図一 1 まさ土造成地で発生したH社屋の不同沈下事例

に調査用ボーリング孔からの注水により地盤に急激で大きな沈下が認められた。以上の結果、転石の混入による締固め不足と、それに起因する浸水沈下が生じたものと判断された²⁾。その浸水沈下防止のためには十分な締固め管理が必要であることを教えている。

2.2 山岳空港のための高盛土の施工

1984年～1988年にわたって標高約250～300mの山岳、丘陵部に新岡山空港の建設が行われ、2500万 m^3 の切盛土工とまさ土を含む厚さ60～80mの高盛

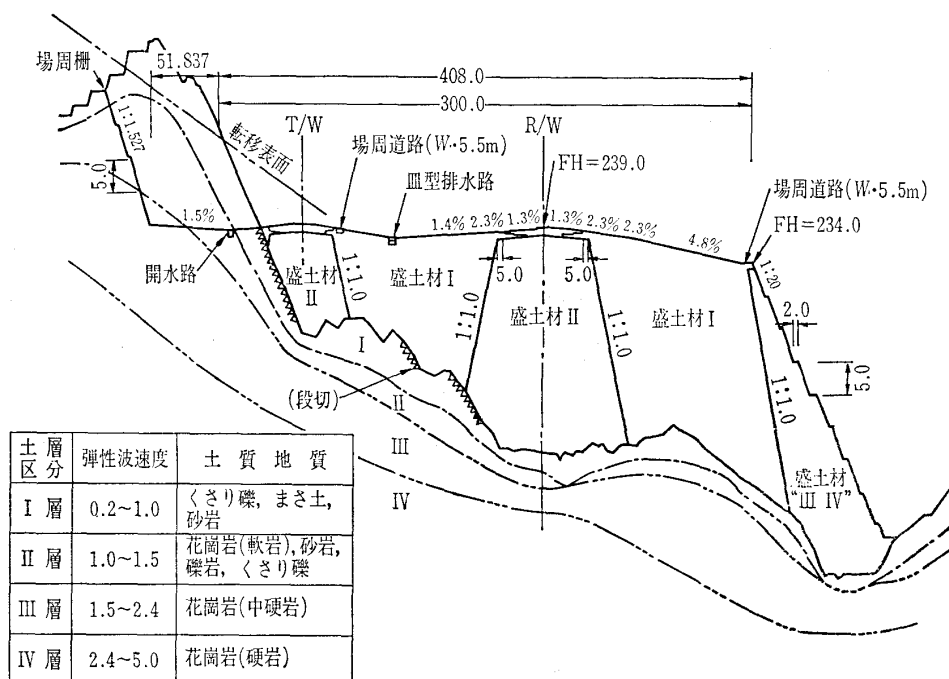
土が施工された³⁾。ここでは、特に地下水位を上昇させないための地下排水に留意するとともに、ゾーニング施工と十分な締固め施工管理が履行され、急速高盛土施工に成功している。特に浸水沈下については、大型浸水コラプス試験を行い、将来地下水面が上昇しても浸水による沈下が発生しないために必要な締固め度を確認し、それを満足する締固め密度管理が実施された。

1988年～1992年には同様に山岳空港である新広島空港の建設が始められている。ここでもまさ土地帯が広く分布しており、浸水沈下についても十分な配慮がなされなければならない。特に空港建設にあたっては、滑走路直下には数多くの埋設物が設置されるので簡単に補修することが難しく、滑走路の不同沈下は致命的ともいえる失敗となる。

2.3 集中豪雨災害

集中豪雨による地盤災害は中国地方に限った事象ではないが、前述のように中国地方はまさ土地帯が占める割合が高く、まさ土斜面の崩壊の事例が多くなるのは必然である。

記憶に新しい最近の山陰地方を中心とする集中豪雨災害は、1982年、1983年に続いて1988年にも発生し、大きな被害をもたらした。特に1982年7月の集中豪雨では、島根県を中心に700mm以上の豪雨があり、107名の人命が失われたが、そのうち斜面崩壊によって91名が亡くなっている⁴⁾。こうした災害



図一 2 新岡山空港(山岳空港)におけるゾーニング施工事例

直後には突発災害の調査グループが組織され、そのメカニズムの解明と今後の対策について研究がなされているが残された課題も少なくない⁵⁾。1990～2000年はこうした集中豪雨災害を含め国際防災十年(IDNDR)と位置づけられ、この地球上から自然災害を軽減させるための努力が払われようとしている⁶⁾。

3. 軟弱粘土地盤の沈下と対策

中国地方の軟弱粘土地盤は瀬戸内海沿岸部の沖積平野に広く分布している。岡山一笠岡平野、広島の前平野部などがその代表的なものである。これらの多くは一様に軟弱粘土層が地表から10～20mの厚さで覆われ、その下位に被圧地下水を有する砂礫層が堆積している。特に広島平野の場合には、地表から5～10mが砂質土あるいは砂質粘土であり、その下位に軟弱粘土層が堆積している⁷⁾。また山陰地方の日本海沿岸部では、鳥取の砂丘にみられるように波浪によって沿岸部では砂地盤となっているが、その後地では同様に軟弱粘土地帯が形成されている。

3.1 錦海湾の締切堤の事故

1957年、瀬戸内沿岸の錦海湾の軟弱粘土地盤上に施工されていた締切堤の破壊の事故は有名である。

軟弱粘土地盤上に築造されていた堤高約7mの盛土がほぼ完成に近づいたときに、延長400mにわたっていわゆるすべり破壊が発生した。当時、初めてサンドドレーンが大規模に採用され、施工管理が行われた本格的な軟弱地盤工事であり、一方土質工学が十分な実績を持っていなかったこと、そして多くの技術者が土質工学に関心を持ち始めていた頃とあいまって多大の関心を集めることとなった。運輸省の故石井博士が中心となってその原因究明と復旧にあたったのである⁸⁾。

その後、高速道路の建設、新幹線の建設をはじめ、軟弱地盤上の埋立工事等々、国土開発と整備のためのビッグプロジェクトが実現に移され、数多くの軟弱地盤対策の実績も得られた。錦海湾での事故は、その初期の一つの大きな出来事であり、その後の軟弱地盤工事に対していくつかの教訓を残したといえよう。

3.2 軟弱地盤上の大工事

1960年ころから全国的に大規模な埋立工事が行わ

れた。中国地方では水島工業地帯の埋立工事が行われ、約30km²の土地が造成された。さらに1976年からは広島の前平野部太田川流域下水道西部浄化センター建設に伴う地盤改良工事が網干博士らの研究グループの協力を得て実施された⁹⁾。

1983～1986年には、東洋一といわれる早島インターチェンジ(山陽自動車道一国道2号線一国道30号線)が軟弱地盤地帯に施工され¹⁰⁾、また1983～1988年には、山口県柳井において超軟弱地盤を克服して中国電力の柳井発電所の造成工事が完成されている¹¹⁾。

水島工業地帯と太田川流域下水道西部浄化センター地域は広面積の埋立てと盛土工事が行われたため、長期にわたる自重沈下が進行することが予想された。そのために水島工業地帯での社屋等の杭基礎についてはネガティブフリクションに対する配慮がなされており、また太田川流域下水道西部浄化センターの場合には、基本的には浮基礎とし、ネガティブフリクションの影響をできるだけ避ける努力がなされているのが特徴である。また柳井発電所造成にあたっては、急速施工のためほぼ全面的に地盤改良工事が実施されている。

こうした軟弱地盤を対象としたビッグプロジェクトは、いくつかの新技术を生み、また実践に移されて実績となり、さらに多くの地盤情報を残すこととなった。しかし軟弱地盤(特に自然堆積地盤)はその地域特有の分布や性質を呈するので、一般技術に加えてその特性を十分把握した上での対応を図らねばならない。すなわち個の問題としての性格が強く、その地域、地点ならびにその状態での情報の収集に努める必要性が強調されねばならない。

瀬戸内海沿岸の比較的浅い軟弱粘土層は一般に正規圧密粘土であるが、粘着力にして概ね、 $c_u=1.5\sim 2.0\text{ tf/m}^2$ 、 $(c_u/p)=0.2\sim 0.25$ 、程度のものが多い。したがって無処理の急速盛土施工の場合、破壊に対する限界盛土高はせいぜい4～5mと考えておかねばならない。これまで道路等の盛土において4～5mの盛土を行ったところで、何らかの異状が出現することが多く認められている。さらに詳しくは、宮原が文献12)でまとめている。

岡山地域では、十数年前から軟弱地盤上の盛土に際して地盤の支持力不足が懸念されたとき、土砂に

総 説

比べて単位体積重量の小さい水砕スラグ（単位体積重量は約 1.2 tf/m^3 ）を利用した事例が多い¹³⁾。最近、発泡スチロールなど軽量材を軟弱地盤上の盛土に利用することが注目されるようになっていくが、その先例であるということができよう。

4. 地下水揚水と地盤沈下

東京、大阪で始まった地下水揚水による広域地盤沈下は社会問題となり、地下水の揚水規制により現在では沈下の進行は停止している。その後、名古屋地域で発生した広域地盤沈下も関係者の努力で沈静化した¹⁴⁾。

こうした地盤沈下はさらに地方へ移る危険性が指摘されてはいたが、中国地方では鳥取市を中心とする地域で発生している。最も沈下の激しいときには年間数 cm となり、観測が始められた1974年からの累計は 30 cm にも達している¹⁵⁾。関係者の努力で現在沈静化の方向に向かってはいるが、完全に静止というところまでには至っていない。

4.1 建設工事に伴う地下水揚水に起因する地盤沈下

地下水揚水に起因する地盤沈下は建設工事における地下水低下（ディープウェル工法等）に伴っても発生している。そのような二つの事例を紹介しよう。

第一例は、1978年瀬戸内海沿岸平野におけるT焼却場建設工事に伴って発生した地盤沈下である。

地表から約10mまでが沖積・軟弱粘土層でその下に透水性の大きい被圧帯水層（砂礫層）があり、その地下水位はほぼ地表面である。瀬戸内海沿岸地部の典型的な地盤性状である。T焼却炉を地下に設置するため工事の掘削深さは10m以上で被圧帯水層に達する。ここでは大きな湧水が予想されたのでディープウェル工法による地下水低下が図られた。当然、地下水低下による圧密沈下が予想されたのでその予測が行われていた。しかし現実には発生した地盤沈下の進行は、圧密試験と圧密計算から求められていた時間－沈下量より十数倍の早さであった。そのため周辺に少なからず被害をもたらすこととなった。その第一の原因は一様な粘土層と考えていた軟弱層に数多くの排水シームが介在したことが指摘された。たまたまその近くに杭基礎で支持されたアパートが建っており、地盤沈下の察知直後にガス管のチェックが行われたのは賢明であった。アパートは

G.L.－10m以深の砂礫層までの杭基礎で支持されているので沈下はしない。一方、ガス主管は軟弱粘土層中に埋設されているので沈下する。すなわちライザーパイプには大きな引張り力が働き切断の危険性があったからである。反省事項として、揚水ポンプ稼動と同時に周辺の沈下観測をしておればディープウェルを停止するなどの早期対応が可能であった。

第二の事例は、1980年山陰地方における広域下水道建設のためのトンネル工事で地盤沈下が発生した。岩盤中の山岳トンネルから平野部の沖積砂層（帯水層）へ出たとき、切羽から大量の湧水が発生し、切羽の自立が難しくなった。地下水圧がある程度減少するまでその湧水を許し続けた結果、地下水低下による地盤沈下が発生した。沈下量は数 cm から十数 cm と小さいものであったが、たまたま近くに精密機械工場があり不同沈下の障害が大きな問題となったのである。

4.2 地下水低下と酸欠事故

1988年、中国地方の中央山岳部のAゴルフ場建設工事現場において酸欠事故が発生し、3名が死亡、1名が傷害を受けるという事件があった。

現地の状況は図－3(a)に示すように、谷部にある既設の井戸が盛土下に没するため、コンクリートピットを造って地下水揚水を行っていた。ピット内に設置されたポンプ調節用バルブ操作のためこの中に入った4名が次々と倒れ死傷事故となったのである。

その原因を調査したところ、地盤は古成層の三郡変成岩とその風化帯であり、地層内には2価鉄 Fe^{+2} が多量に含有されていた（昔、近くで鉄の採集が行われたという話もある）。地下水揚水による地下水低下により、水面下の2価鉄を含む層が水面上に出て酸化され、3価鉄 Fe^{+3} になるときに間隙中の酸素を消費した。ピット周辺にゴルフコース造成のための高盛土が行われ、地盤は圧縮され、酸欠状態となった間隙中の空気が井戸管の側面に沿って上昇しピット内に流れ込んだものと考えられる。ピット内の空気の測定の結果、図－3(b)に示すように 30 m^3 のピット内の空気は数十分で致死レベルの酸欠状態に至ることが判明した。

通常の空気には約20%の酸素が含まれている。この酸素の割合が16%に低下すれば人体に異状が発生

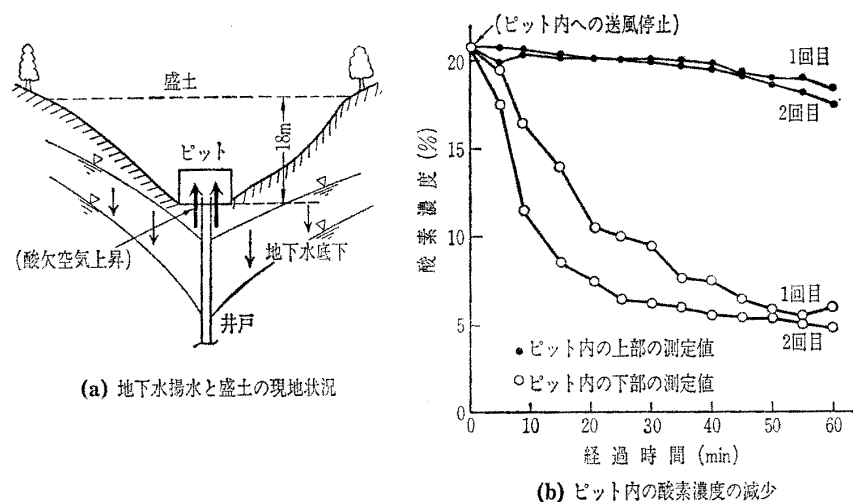


図-3 Aゴルフ場建設現場における酸欠事故例

し、10%になると死に至るといわれている。死因はショック死となる。また2価鉄を多量に含んだ土塊 1m^3 が酸化することによって約 $10\sim 20\text{m}^3$ の空気が酸欠状態になるといわれている¹⁶⁾。最近、酸欠状態をキャッチする小型のセンサーが開発されており、こうした事故に至らぬ注意が必要である。

4.3 トンネル工事と地下水環境アセスメント

トンネル掘削による地下水の湧出は、トンネル工事を難しくするばかりでなく周辺の地下水環境に大きな影響を与えることがある。この種の問題は最近特に注目され、危険が予想される場合にはその影響調査が行われるようになってきた。

中国地方のトンネル工事等でもいくつかの調査が行われ(例えば、山陽自動車道の荊田トンネル)、対策を講じられてきたこともあり、幸いにして大湧水や地下水の枯渇といった事故に至ったケースはほとんどない。一般的にいて、中国地方では、四国地方にみられるような大破碎帯は少なく、また花崗岩中の湧水等も六甲山のような大量のものはみられない。

ただ、以前に銅山としての採掘が行われていた山岳部に山陽自動車道のためのトンネルを掘るにあたって、湧水や掘削土中に有害とされる重金属が含有されるケースがあった(例えば、金田トンネル)。湧水や掘削土、切土部からの溶出水について調査が行われ、水処理と掘削土処理について対策が講じられた¹⁷⁾。また、ろう石を産出している地域(岡山の備前地域)では $\text{pH}=3\sim 4$ の強酸性の地下水や浸透水が湧水し、コンクリートの腐食のみならず、周辺

への影響について調査が行われ対策が研究されている。

土質工学はこれまでのように単に土の力学の問題にとどまらず、環境保護と環境づくりの広い知見と技術が求められようとしている。

5. 地すべりと斜面崩壊

中国地方の地すべりとしては山口県油谷の地すべりが有名である。第三紀系の泥岩層の地すべりであるが、玄武質溶岩がキャップロックとなっている。大原博士の研究グループが継続的に調

査研究を行っているが¹⁸⁾、地下水との関連が非常に強く、特に降雨や水田の灌漑水の浸透と地すべりの移動速度の関連が顕著である。このように第三紀系の泥岩中の地すべりが多く観測されている。

1985年、高梁川右岸で発生した尾崎の地すべりは、300 mm を越す集中豪雨を誘因として 165万 m^3 の土塊がすべり出した。斜面尻には国道180号線、高梁川、さらに対岸にはJR伯備線が走っており、地すべり防止は緊急を要した。地下排水、アンカー、土留め工など総額30億円以上の費用を投入してその制御が行われた¹⁹⁾。ここは三郡変成岩に由来する崩積土が旧河床礫層の上ののっており、地下水の上昇により突発的に移動を始めたものと考えられている。中国地方の地すべりで経験的にいわれることは、連続300 mm以上の降雨があると地すべりが多発する傾向がみられる。

中国縦貫高速自動車道の建設にあたっては、特に岡山から広島県境にかけて地盤は変成作用を受けている箇所が多く、切土に起因する斜面崩壊やこれに誘発される地すべりの危険性が高く、その対策に多大の努力が払われた。現在、建設中の中国横断自動車道(岡山～米子間)についても、落合～湯原間では温泉地が示唆するように斜面安定の観点からの岩盤の性質は悪く難工事が予想されている。

6. 杭の遺構—あとがきに代えて—

1989年、山陽自動車の総社ジャンクション工事現場でめずらしい遺跡が発見された。

芦田川の旧河川の堤防の位置と考えられるところ

総 説

に、杭長1～2mの木杭が約6000本密集して打設されていたのである。時代鑑定によれば7世紀のものであるらしく、「津寺遺跡」と命名された。木の種類は当時この一帯で広く植生していたと考えられるアベマキで一辺が約10cmの角柱である。その杭群は幅3～5m、長さ約90mに密集して打設されており、さらに横木がはめこまれている。

杭が打設されていた箇所の土質は砂まじりの粘性土であるがその目的はいまだに明確でない。堤防の支持力を補うためのものか、堤防の洗掘を防止するためのものか、また止水矢板の効果を期待したものか、等々、議論が続出している。また現代のジオテキスタイルを思わせるような木枝を組み合わせた簾状遺構も発見されている。さらにこれら遺跡の保存方法についても研究対象となり、「ジオグリット併用砂充填工法」が採用された²⁰⁾。

地盤の工事や調査に携わる者としてこうした遺跡に出くわすと厄介である。工期が延び費用もかさむ。しかしこうした仕事に携わる者ゆえに古代のロマンに直接遭遇できると考えれば悩みも少なくなるというものであろう。

筆者の少ない経験と知見から中国地方の土質と基礎を十分紹介できるとは到底考えられなかった。そこで前文にも書いたように筆者の印象に残る事例を中心に問題点と教訓を述べたつもりであるが、それらから少しでも中国地方の全体像を理解していただければ幸いである。

参 考 文 献

- 1) 宮島圭司：本四架橋横断における地盤特性と基礎，基礎工，Vol.14，No.9，pp.51～58，1986.
- 2) 河野伊一郎：岡山の地盤沈下とそれに伴う社屋損傷の原因等について，H社屋沈下原因調査委員会報告

- 書（岡山県），pp.1～3，1986.
- 3) 清水幸雄・河野伊一郎：高盛土による山岳空港の建設，土木学会論文報告集，No.403，pp.189～199，1989.
- 4) 猪木幸男・村上允英：中国地方（日本の地質），共立出版，pp.211～214，1986.
- 5) 例えば，芦田和男：1988年7月島根・広島豪雨災害の調査研究，自然災害総合研究班，1989.
- 6) 日本学術会議防災工学委員会：国際防災の十年，pp.1～19，1989.
- 7) 松浦 誠・芳賀保夫：主要都市及びその周辺部の地盤特性と基礎工法（中国地区），基礎工，Vol.1，No.12，pp.44～62，1972.
- 8) 石井靖丸：軟弱地盤工法，技報堂，1959.
- 9) 網干寿夫・石井敬一：太田川流域下水道西部浄化センター地盤改良工事に伴う情報化施工，土と基礎，Vol.30，No.7，pp.17～33，1982.
- 10) 海洋架橋調査会：早島一粒江軟弱地盤対策検討委員会報告書，1988.
- 11) 柴田勝也：柳井発電所埋立工事の概要，電力土木，No.200，1986.
- 12) 宮原健二：中国地方におけるローカルな土，土と基礎，Vol.31，No.1，pp.49～56，1983.
- 13) 河野伊一郎・二町宜洋：盛土材料としての水砕スラグ，材料，Vol.26，No.290，pp.23～29，1977.
- 14) 河野伊一郎：地下水保全とこれからの技術課題，土と基礎，Vol.34，No.11，pp.1～4，1986.
- 15) 鳥取県衛生環境部：鳥取市の地盤沈下調査結果（未発表），1988.
- 16) 河野伊一郎：地下水工学，鹿島出版会，pp.170～171，1989.
- 17) 産業公害防止協会：山陽自動車道掘削土等処理に関する報告書，1988.
- 18) 大原資生：山口県の地盤特性と基礎，基礎工，Vol.14，No.9，pp.27～31，1986.
- 19) 岡山県：高梁川尾崎地すべり災害復旧工事，岡山県土木部，1986.
- 20) 日本道路公団広島建設局：津寺遺跡保存工事概要，1989.
- 21) 土質工学会中国支部：土質工学会中国支部25周年誌，pp.51～172，1984.

（原稿受理 1989.12.25）