The Japanese Geotechnical Society

講座

基礎設計における基準の背景と用い方
10. 土構造物の設計「地盤の造成」

今　泉　正　次（いまいずみ　しょうじ）
五洋建設㈱土木本部土木設計部

10.1 概　要

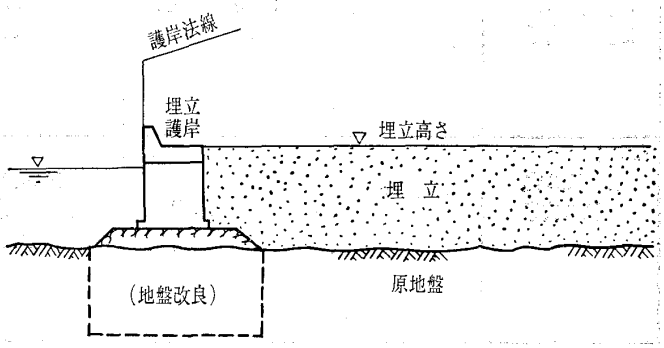
地盤の造成には，海や湖沼を埋立てて土地を造成する方法と傾斜地を切土や盛土によって整地し，宅地などを造成する方法がある。埋立にしても宅地造成にしても，これらの行為および結果が社会環境や自然環境に与える影響が大きいため，法律によって多くの規制が設けられている。法的規制の多くが開発の許認可に関連することがらである。しかし，技術基準もその重要な部分を担っている。ここでは，海上の埋立工事と陸上での宅地造成を例にとり，技術基準の適用上の留意点を述べる。なお，ここで引用する主な基準と略称は次のとおりである。

港湾の施設の技術上の基準・同解説[1]	→港湾施設基準
道路橋示方書・同解説[2]	→道示
宅地造成等規制法[3]	→宅造法

10.2 埋立の関連基準

平坦な国土の少ない我が国では，臨海部を埋め立て，工業や物流の基地として利用してきた。高度成長期に比べ埋立による土地造成の勢いは低下してきているとはいえ，関西国際空港や志布志の石油備蓄基地など人工島形式の大規模な埋立が行われつつある。

埋立による土地造成は海という公的な水域を改変し占有する行為である。このため，埋立を行う場合は「公有水面埋立法」（大正10年，法律第57号）[4]に定められた手続き（埋立申請）を行って許認可を受け，埋立免許を取得しなければならない。埋立申請手続きの際は，埋立の目的，規模，護岸の構造，埋立材料，工程等を示すとともに，環境影響評価書や利害関係者の同意書などが必要となる。埋立申請段階での設計や施工計画は，細部にわたるものが求められるわけではなく，免許取得後に手続きを経て申請内容の一部を変更することは可能である。なお，廃棄物の埋立処分を行う場合は「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」または「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の適用も受けることになる[5]。



図—10.1　埋立の概念図

埋立の設計においては，護岸や土工計画ばかりでなく，係船岸や背後の施設の計画を併せて実施することが多く，検討事項は多彩になることが多い。ただし，図—10.1に示すように，埋立の最小限の要素は埋立護岸の建設と背後の埋立であるため，ここでは埋立護岸の設計と埋立地盤の沈下について述べる。

一般の埋立護岸の設計は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下，港湾施設基準と略記）第7編，外郭施設，第7章，その他の外郭施設，の項に定められた「埋立護岸」の規定に従って実施する。埋立地盤面の沈下の予測は，港湾施設基準の第5編の「基礎の沈下」に計算法が示されている。

10.3 埋立護岸の設計

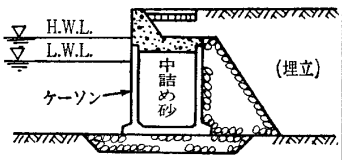
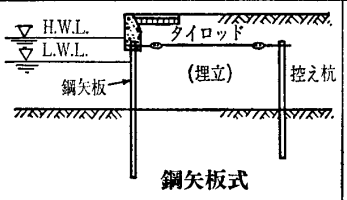
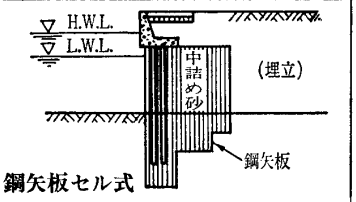
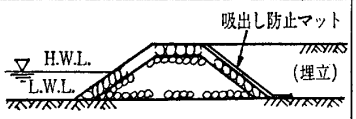
10.3.1 設計基準の概要

埋立護岸の天端高は潮位，越波の程度および護岸背後の利用条件等を考慮して定める。埋立護岸の堤

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

表—10.1　護岸の構造様式

構造様式	例	特　徴
重力式 ケーソン式， L型ブロック式， セルラーブロック式等	 ケーソン式	ケーソン式は比較的水深の大きな場所で用いられ，ほかは浅い場所で用いられる。曳航据え付け方式でケーソンを施工する場合は吃水に注意が必要。また，ケーソンやブロックなどのプレキャスト材の製作場所や仮置き場所の検討をしておく必要がある。目地や捨石マウンドからの土砂流出対策が必要
矢板式 鋼矢板式， 鋼管矢板式， 二重矢板式等	 鋼矢板式	軟弱地盤に対応しやすい。水密性が高いので廃棄物埋立護岸に採用された例も多い。腐食対策が必要。
セル式 鋼矢板セル式， 鋼板セル式等	 鋼矢板セル式	急速施工が可能，大量の良質な砂（中詰め砂）が必要。水密性が高いので廃棄物埋立護岸に採用された例も多い。腐食対策が必要。
捨石式 捨石式， 捨ブロック式等	 捨　石　式	水深が小さい場所に適している。埋立土の吸出し防止対策が不可欠。

(注) 図は文献5)から引用。

体は前面からの波の作用や背後の埋立土の土圧に対して安定でなければならない。また，洗掘・吸い出しにより背後の土砂が漏出しない構造とする必要がある。

表—10.1に例示するように護岸の構造様式には多種・多様のものがある。設計では，これらの中から，あるいはこれらをヒントにして新たな構造を案出し，各種の条件に見合う構造様式を決定することが求められる。各種の条件とは，潮位，水深，波浪，地震，原地盤の性質，埋立材の性質，安定性，施工性，経済性等である。実際には構造様式の選定の段階で2，3の案をとりあげ，比較検討を経て最適な案に絞り込むこととなろう。

軟弱土が厚く堆積している場所の護岸では，本体構造ばかりでなく，地盤改良を含めた比較検討が必要なことは言うまでもない。なお，地盤改良設計法について補足すれば，港湾施設基準の改訂前（昭和54年版）は地盤改良工法として置換工法とサンドドレーン工法のみの記載であった。しかし，平成元年度版からは，新たに，深層混合処理工法，サンドドレーン工法，ロッドコンパクション工法の設計法が示されるようになった。また，最近開発されつつある各種のプラスチックボードドレーン材の紹介も行われている。地盤改良設計はこれらの基準にしたがい，細部については関連文献や協会のマニュアルを使って進めればよい。幸い，港湾施設基準には該当箇所に参考文献が多く示されている。

埋立護岸も一種の土留め構造物であるが，前面が海であるため潮汐や波浪の作用にも耐えられる構造とする必要がある。潮の干満により背後埋立地の地下水位は変動し，この変動が時間的な遅れを伴うため護岸前後で水位差が生じる。設計ではこの水位差による水圧（残留水圧）を外力として考慮に入れなければならない。残留水位は護岸の透水性の程度によって異なるため実情に応じた設定が必要であるが，標準的には鋼矢板式護岸では前面潮差の2/3，ケーソン式やブロック式護岸では前面潮差の1/3が用いられる。

護岸に波の影響が及ぶ場合は波の作用に対して護岸の安定性が確保されなければならない。護岸位置での波の大きさは，沖合で定められた設計波に回折，屈折，砕波などの変形を考慮して算定する。護岸の場合，波の力で堤体の安定が直接損なわれるよりは，越波による背後埋立土の流失，流れによる護岸前面の洗掘，消波ブロックの散乱等により安定性が低下し，その結果堤体の大きな被災に発展する例が多い。このため，滑動や転倒など全体の安定性検討に加え，後述する洗掘・吸出し対策など耐波設計面からの検討が必要である。

10.3.2　良い設計のためのチェックポイント

前節で述べたのは埋立護岸の設計で一般的に留意すべき事項である。基準のそれぞれの記述事項をよく理解して設計を行えば適切な構造にすることができるはずである。しかし，設計基準というものは種々の条件を想定し，そのいずれをもカバーできるような配慮がなされている。そのためどうしても一般

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

的な表現になってしまうという宿命を持っている。例えば，基準の中には安定性，経済性，施工性などの用語が用いられることが多い。しかし，これらの中身を実際の設計でどう評価していけば良いか，これが難しい。ここでは，埋立護岸を設計するうえでのいくつかのポイントを補足したい。

(1)　埋立法線に注意

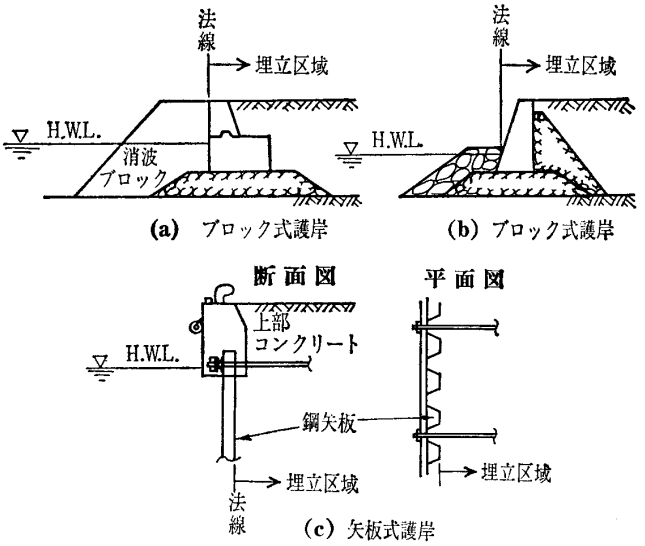
埋立免許の許可条件のうち，護岸構造，工事期間，施工順序などは免許取得後でも所定の変更手続きを行うことで変更できるが，埋立法線の変更はやっかいである。埋立法線を多少縮小することは変更手続きで対応可能である。しかし，縮小範囲が大きくなれば，環境影響評価の内容にも響いてくるし，その他の許可条件にも関連してくる。このような場合の変更は免許申請に匹敵する手続きが必要になる。また，構造形式の変更等に伴い埋立区域を拡大する必要が出た場合は免許申請を最初からやり直さなければならない。埋立申請は環境影響評価や利害関係者の同意を伴う大変な作業であり，期間（調査を含める少なくとも1.5年は必要）も要することに留意すべきである。

埋立法線は朔望平均満潮位（HWL[注1)]）と構築物の交わる位置で定められるのであるが，**図—10.2**に示すように構造形式によって微妙に変わる[6]。決定した法線をその後の実施設計で変更することは困難であるから，少なくとも埋立法線の変更を要しない程度の検討を当初の設計段階で済ませておくべきである。

(2)　特殊な条件の場合の注意

設計基準が幅広い条件をカバーしようとしたとしても，実績の少ない，特殊な条件が前提となる場合は注意が必要である。例えば，大水深，軟弱地盤あるいは傾斜の大きい地域に護岸が建設されるような時はより綿密な検討が必要である。もっとも，このようなことは埋立護岸だけの問題でなく，ほかの構造物でもあてはまる。

港湾施設基準に護岸前面水深の適用範囲が明確に定められているわけではない。ただ，これまでの埋立護岸の実績を見れば，多くは10mより浅い海域に築造されてきた。一方，最近では20m～40mの水深で，かつ，軟らかい粘性土が厚く堆積する海域に埋立が計画される例も増えている。このような海域に造られる護岸は通常の構造検討だけでなく，堤体の沈下や変形，耐震性等について，解析や実験など，より詳細な検討を行って安定性を確認する必要がある。



図—10.2　構造様式と埋立法線[6]

(3)　施工性のチェック

どんな構造物でも実際に造れるのでなければ設計の意味がない。また，例え造れても，施工上多くの困難を伴う場合，品質に不十分さが残ったり，不経済となりがちである。詳細な施工検討は設計時点では無理であるにしても，いくつかのチェックポイントがある。ここでは，作業船を用いた工事について留意すべき事項を述べる。

i)　水深と吃水

作業船が入り込めないような浅い場所ではその作業船は使えない。また，ケーソンを曳航し据え付ける場合，ケーソンの吃水に見合う水深が必要である。一般には，吃水に1～2m程度の余裕が必要である。水深が浅い場合の施工上の対応策としては，①足場を作ってその上から作業する，②浚渫して必要な水深を確保する，③潮位が高い時間に作業をする，などが考えられる。このほか，浅い水深で作業できる構造様式の選定という設計時点での判断もある。いずれにすべきか，サイトの条件や経済性を踏まえて判断する必要がある。

注 1)　太陽や月によって起こる潮位変動は月間の朔(新月)，望(満月)の数日後において大きくなる。このため，朔望の日から5日以内に現れる各月の，最高満潮面を平均した水面を朔望平均満潮位（H.W.L.），最低干潮面を平均した水面を朔望平均干潮位（L.W.L.）と呼び設計の条件として用いる。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

ii) 波浪

多くの作業船は波が大きいと作業ができなくなる。例えば，杭打ち作業は通常の作業船では有義波高 $H_{1/3}$[注2)]が0.5mを越えると作業が困難になる。海上工事は，通常，高波浪時を避けて作業を行うのであるが，稼働率（作業できる時間の割合）は経済性に大きく影響する。そのため，海象条件の悪い場所では構造様式の選定の段階でこのことに配慮する必要がある。**表—10.1**の矢板式護岸など，波が荒い場所では採用できない工法があるので注意が必要である。

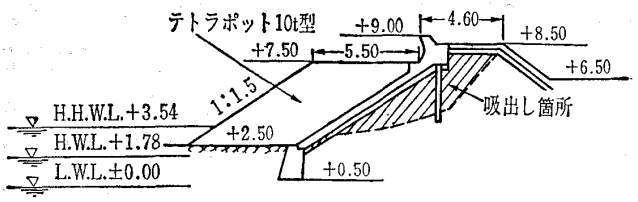
iii) 仮設基地

ケーソンやブロックは広い製作・仮置き場所と積出し基地を必要とする。石材，鋼材も仮置き場所と積出し基地が必要である。仮設基地の規模・内容は護岸の形式によって異なる。このような製作運搬のための仮設基地がサイトから遠いと，経済性や工程に大きく影響する。護岸など海上工事による構造物の経済性は，物量のみでなく仮設基地を含めて評価する必要があり，詳細には施工計画時点で検討される。しかし，設計時点でも，近くに製作ヤードや積出しバースが確保できるかどうかはチェックしておくべきである。

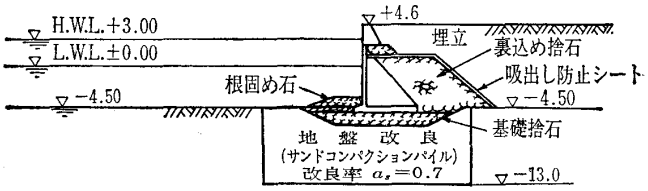
(4) 被災経験に学ぶ

現在の設計法はいろいろな被災を経験しながら整備されてきたといっても過言ではない。埋立護岸の場合，地震による倒壊・変形を受けた多くの経験がある[7]。また，波による洗掘・吸出しによって護岸の機能が低下したり，失われた例も多い[8]。これらの経験は陰に陽に設計基準の中に取り込まれている。

洗掘や吸出しは波の影響が強い場合顕著である。ただし，その進行が緩慢であるため，気づいたときは相当危険な状態になっていたというケースも多い。**図—10.3**は吸出しを受けて被災した海岸堤防の例である。洗掘の恐れのある場合は根固め工や洗掘防止マットで対処することが多い。波の影響が小さくても，ケーソン式やブロック式，捨石式では吸出し対策が重要である。吸出しに対してはケーソン目地，防砂板，防砂シート等が用いられることが多い。**図—10.4**はL形ブロックを用いた埋立護岸の設計例であるが，吸出しに対して防砂シート，洗掘に対して根固め石で対処している。



図—10.3　吸出しによる被災例（海岸堤防）



図—10.4　埋立護岸の設計例（L型ブロック式護岸）

海象条件の良くない場所では施工期間中の被災にも注意しなければならない。例え作業員や作業船の安全性に支障が出なくても，施工の途中で被災を受けると工事が相当な手戻りになる。施工期間中に高波が来襲するような条件下での工事では，現地工事の時間がなるべく少なくて済み，放置した状態でも被災を受けにくい形式の構造が望ましい。例えば，矢板構造物は仮設中の安定性が低いので静穏海域向きである。ケーソン堤は据え付けて中詰めを終了するまでは安定性が低いが，この期間（3日程度）を乗り切れば比較的安定性の高い断面になる。

(5) その他

将来の拡張の可能性，補修のしやすさなども配慮して構造様式が選定できればより良い設計になるであろう。また，環境に調和し親しみやすい構造を案出していくことも今後は重視されよう。

10.4 埋立地盤の沈下の検討

埋立の最終目標は規定の敷地高さを確保することである。設計時点においては原地盤の沈下や埋立材料の圧縮量を予測し，その結果をもとに埋立土量や工程の検討を行うことになろう。しかし，実際には次に示すように各種の条件の違いがあり，検討手法を一律に述べることは難しい。

i) 土工計画の条件

- 埋立材料…廃棄物，建設残土，陸土，浚渫土等
- 埋立方法…まき出し，バージ投入，ポンプ排送等
- 地盤改良の有無，方法
- 埋立工程

注 2) ある波群の成分波の波高の，大きい方から1/3の数の波を選び出し，それらを平均して求めた波高。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

ii) 現地の条件

・原地盤の土質…砂質土，粘性土

・土層厚さ，成層状態

一般の沖積地盤の沈下については，港湾施設基準の中で地盤内応力の推定法，砂地盤の即時沈下，粘性土の圧密沈下とその経時変化の計算法が詳細に示されている。粘性土地盤の圧密については，Terzaghi(テルツァーギ）の一次元圧密理論が基本となっている。

港湾施設基準では，最終圧密量を(1)式で求めることを標準としている。一方，最終圧密量は(2)式または(3)式で求めることも可能である。「道路橋示方書・同解説」（以下，道示と略記）では，原則として(2)式を用い，正規圧密状態にある場合のみ(3)式を使うことを認めている。実際はそれぞれの式から求められる値は多少異なるのが一般である。式の選択の理由が，それぞれの基準の中で説明されていないため明確な理由はわからないが，想定される理由の一つは，各機関の主に取り扱ってきた対象の差によるものと考えられる。港湾施設の防波堤や護岸は湾や河口付近など土層変化の比較的少ない地盤に建設されることが多い。これに比べ道路の施設の橋梁基礎や盛土は路線に沿う土層変化が複雑である。より多く遭遇する地盤と構造物の違いが，圧密計算式の選択の差を生んだと考えられる。

$$S_0=\sum m_v \Delta h \Delta \sigma_z \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，

S_0：最終圧密沈下量（cm）

m_v：体積圧縮係数（cm²/kgf）

Δh：圧密層の分割片の厚さ（cm）

$\Delta \sigma_z$：考えている分割辺の中央における圧密応力（kgf/cm²）

$$S=\frac{e_0-e_1}{1+e_0}H \quad \cdots\cdots(2)$$

$$S=\frac{C_c H}{1+e_0}\log_{10}\frac{p_0+\Delta\sigma_z}{p_c} \quad \cdots\cdots(3)$$

ただし，$p_0+\Delta\sigma_z>p_c$

ここに，

S：粘性土層における圧密沈下量（cm）

e_0：深さzの層の初期間隙比

e_1：深さzの層の$p_0+\Delta\sigma_z$に対する間隙比

H：粘性土層の厚さ（cm）

C_c：粘性土層の圧縮指数

$\Delta\sigma_z$：載荷荷重に基づく地盤内の深さzにおける垂直応力の増分（kgf/cm²）

p_0：深さzにおける有効土被り荷重（kgf/cm²）

p_c：深さzにおける圧密降伏応力（kgf/cm²）

圧密現象は Terzaghi 理論が多く用いられているが，その前提条件と現実の差，圧密試験法にからむいくつかの問題，e～log p が正規圧密状態でも必ずしも直線にならないなど，詳細には多くの課題がある。そのため，仮に結果に差があったとしても(1)～(3)のどの式が適切であるかを明確に説明できるものではない。

実務的には設計の準拠示方書が何であるかによって解決されると考えられる。まれには，港湾施設の護岸の背後に道路の橋脚が建設されるようなケースはあろう。このような場合は，一つの割り切りとして，異なる計算式があることを示し，それぞれの計算を行って，いずれか（例えば，大きい値をとるなど）を採択するなどの対応方法が考えられる。

実際の沈下予測では，①二次圧密，②浚渫粘土に代表される高含水比の粘土の取り扱い，③層厚変化や自重の影響が無視できない場合の取り扱い，④薄い砂層が細かく挟まれた場合の排水層の判断[9]，などの課題があることが多い。最近ではこれらの条件を踏まえた予測方法が研究され実用に供されている[10),11)]。ただし，研究段階であることもあり設計基準の中に盛り込まれるには至っていない。

10.5 宅地造成の技術基準

言うまでもなく土地の造成は何らかの目的を持って行われる。宅地造成においても，そこに建設される施設は住宅，道路，上下水道，ガスや電力の供給施設，学校，公園など多岐にわたり関連する技術基準も多い。例えば，宅地造成の関連法令を示すと**表—10.2**のようになる[12)]。これらの法律に関連して，例えば，道示などの基準が対応している。したがって，宅地造成の擁壁などの設計に当たってはその構造物がいずれの規制を受けるか見定めておく必要がある。ここでは「宅地造成等規制法」を例にとり，その一部を説明する。

「宅地造成等規制法」（昭和36年，法律191号，以下，宅造法と略記）は，この法律の第1条に示されるように「宅地造成に伴い崖崩れまたは土砂の流出を生ずるおそれが著しい市街地または市街地になろうとする土地の区域内において，宅地造成に関する

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

表—10.2　宅地開発関係法令[12)]

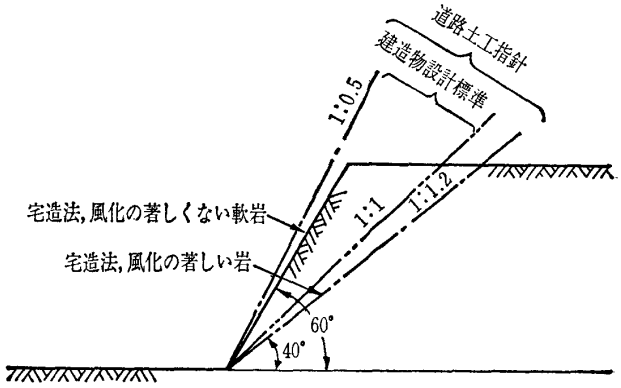
宅地開発関係	公共用水域の水質の保全に関する法律
都市計画法	駐車場法
土地区画整理法	自動車ターミナル法
新住宅市街地開発法	学校教育法
新都市基盤整備法	義務教育諸学校施設費国庫負担法
首都圏の近郊整備地帯および都市開発区域の整備に関する法律	消防法
大都市地域における住宅地等の供給の促進に関する特別措置法	清掃法
宅地造成等規制法	児童福祉法
地域開発関係	ガス事業法
国土総合開発法	電気事業法
国土利用計画法	その他
首都圏整備法	その他
近畿圏整備法	建築基準法
中部圏開発整備法	土地収用法
首都圏近郊緑地保全法	農地法
近畿圏の保全区域の整備に関する法律	農業振興地域の整備に関する法律
新産業都市建設促進法	生産緑地法
工業整備特別地域整備促進法	文化財保護法
その他	森林法
公共公益施設関係	砂防法
道路法	急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律
道路構造令	地すべり等防止法
河川法	古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法
都市公園法	公有水面埋立法
水道法	測量法
下水道法	その他

工事等について災害の防止のため必要な規制を行うことにより，国民の生命および財産の保護を図り，もって公共の福祉に寄与すること」を目的として制定された。宅造法は同法施行令，同法施行規則をあわせて一連の体系をなしている。

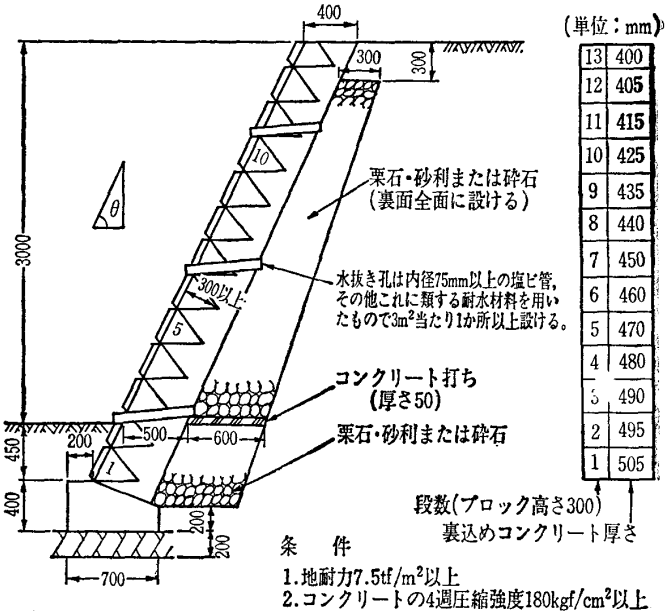
宅造法には規制区域の指定，規制の内容，区域内の工事の規制，許可申請の手数料，罰則，政令や都道府県への委任事項などが定められている。同法施行令には擁壁や排水等の技術基準，都道府県への委任事項等を，同法施行規則には申請手続きに関する事項および都道府県への委任事項等が定められている。なお，宅地造成に関連する法律として，その後「都市計画法」（昭和43年，法律100号）が制定され，同法施行規則の中にも擁壁や排水施設の技術基準が示されている。ただし，宅造法とラップする事項については矛盾が生じないように配慮されている。

10.6　宅造法に見る技術基準の特徴

宅造法施行令は全体で25条からなる政令であり，主として工事の技術的基準を定めている。この技術基準の特徴は，基準と言っても基本的な事項しか定めていないことである。道示などの親切な解説付きの設計基準に慣れた方から見ると，荷重の設定方法，斜面の安定計算法，すべりに対する安全率などの具体的な内容は示されていない。例えば，第4条2には「切土をする場合において，切土した後の地盤にすべりやすい土質の層があるときは，その地盤にすべりが生じないように杭を打ち，土の置換えその他の措置を講じなくてはならない」と示されている。この規定を設計計算を行って検討するには，設計者は，対象とする地山が「すべりやすい土質の層」を含んでいるかどうかを判断する必要があるし，「すべりが生じない」ことを確認する手法としてどのような手法が適切かを判断しなければならない。



図—10.5　軟岩の切土勾配



図—10.6　練積み造擁壁の標準構造図の例[16)]

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

また，第5条には切土勾配の規制が示され，図—10.5に示すように軟岩（風化の著しくないもの）では60°，風化の著しい岩では40°の勾配を越えると擁壁が必要となる。実際に設計に当たる場合，岩の風化の程度をどう解釈するかで結果が大きく異なる。このように，技術基準（特に法に示された基準）では解釈に悩むケースが少なくない。このような場合は更に詳しい解説が示されている類似の設計基準を参照したり，専門書を調べて判断すべきである。図—10.5には「道路土工指針」[13]「建造物設計標準」[14]に示された軟岩での切土勾配の標準値を付記したが，これらの基準には軟岩の強度判定の一応の目安が示されている。

宅造法に示される技術基準のもう一つの特徴は規則への委任である。同法施行令によれば，都道府県知事は必要と認められるときは，都道府県の規則により，政令で示される技術基準を強化することができる。大都市近郊の一部の県においては乱開発を防止するため規制強化が実施されていると聞く。ここから，宅地造成の設計に当たる技術者は当該地方公共団体の規則を十分に調査しておかなければならない。また，政令解釈に当たって疑問になるような点についても，許可申請先の行政の窓口でよく相談すべきである。例えば，横浜市は宅地造成の認可申請の手引を作成している[15]。また，図—10.6に例示するような擁壁の標準断面を定め行政指導のガイドラインとしている[16]。

参考文献

1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1989.
2) ㈳日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，1990.
3) 学陽書房編集部編：建設小六法，学陽書房，1987.
4) 運輸省港湾局監修：港湾小六法，東京法令出版，1992.
5) 酒見尚雄：埋立，新体系土木工学，p. 28，1981.
6) 同上，p. 67.
7) 鹿島遼一・植田和哉・岡　睦夫：事例調査に基づく防波堤・護岸の地震被災特性，第33回海岸工学講演会論文集，1986.
8) 鹿島遼一・今泉正次・戸田泰和：被災事例からみた防波堤・防波護岸の波浪被災特性，第33回海岸工学講演会論文集，1986.
9) 小林正樹：人工島の建設の現状と動向，土と基礎，Vol. 39，No. 1，p. 103，1991.
10) 今井五郎：粘性土の圧密機構，土質工学会編「わかりやすい土質力学原論」p. 45，1987.
11) 矢野弘一郎：浚渫粘土による軟弱埋立地盤の性状とその予測，土木学会論文集，No. 364，1985.
12) 吉岡昭雄：宅地造成，新体系土木工学，p. 16，1981.
13) ㈳日本道路協会：道路土工，のり面工・斜面安定工指針，p. 123，1986.
14) 日本国有鉄道編：建造物設計標準解説，土構造物，p. 137，1984.
15) 横浜市：宅地造成のしおり，1987.
16) 横浜市建築局宅地指導部：宅地造成工事技術資料（盛土・切土・擁壁），1984.

NII-Electronic Library Service