

緩傾斜堤の安定性に関する全国実態調査

宇多高明*・小菅 晋**・柳澤 修***

1. ま え が き

近年、従来型の直立堤防・護岸に代わって海岸へのアクセスの向上を図り、美観にも配慮した緩傾斜堤が築造されるようになった。確かに、直立堤防に比較すれば緩傾斜堤は親水性や景観の向上に役立つ面を有している。しかしながら、沿岸漂砂の卓越した海岸において浜崖後退を防止するために緩傾斜堤が用いられると、緩傾斜堤の下手海岸では浜崖の後退が繰り返され、期待される効果の発揮が不十分になることもしばしばである。こうした事実がある一方、近年の侵食の激化に伴って後退を続ける浜崖が背後の民有地に迫り、このため汀線の後退を是非とも阻止しなければならない場合も数多い。こうした海岸では緩傾斜堤のみでは根本的意味より侵食を防止することはできず、他の対策も同時に進められるべきであるが、恒久策を進めるには通常かなり長い時間がかかる。この間にも侵食は進んでしまうから、何らかの形で当面の対策を行うことが必要となり、そうした場合に緩傾斜堤がしばしば造られる。この場合、緩傾斜堤はできる限り安定性を高めなければならない。なぜならこのような海岸では、侵食はさらに進むと考えられるので、緩傾斜堤への作用波力やその周辺での洗掘は次第に増大すると考えられるからである。本研究では、全国各地に造られた緩傾斜堤の中から35地点を抽出し、緩傾斜堤の被災の有無を分類するとともに、堤脚水深やのり面勾配と被災状況の関係について考察する。

2. 緩傾斜堤の安定性に関する分析

2.1 データの単純集計

緩傾斜堤の被災状況は全国各地より表-1および図-1に示す35地点を選んで調べた。調査に際しては、波浪特性が大きく異なる日本海側、太平洋側よりサンプルを選ぶだけでなく、内海や内湾のデータも集めるよう注意した。調査した緩傾斜堤の被災の有無を図-2に示す。一般に、緩傾斜堤の被災状態は表のり面に不陸が発生す

る場合と、端部が崩壊する場合とに分けられるが、ここでは両者を併せた被災の有無について分類する。図-2(a)によると、35箇所の緩傾斜堤のうち被災が確認されたのは11箇所(31.4%)、安定性を維持している緩傾斜堤は24箇所(68.6%)であった。すなわち全数の約1/3で被災が見られたことになる。被災の有無別に海域ごとの分類を行うと図-2(b), (c)となる。分類に際して、緩傾斜堤が瀬戸内海や波浪が比較的静穏な湾内、または入江に位置する海岸に設置されている場合には、この立地条件を優先した。まず、全体的傾向として緩傾斜堤の被災は、太平洋や日本海に直接面した海岸において多く見られることが分かる。一方、被災のない緩傾斜堤は、瀬戸内海を含めた湾内・入江に位置する海岸に設置された場合が16箇所(66.7%)と最も多いが、外洋に面した海岸においても安定を保つ場合がある。

外洋に面した海岸において安定性を維持している8箇所の緩傾斜堤について付帯構造物(離岸堤、突堤、消波工等)との関係を調べると図-2(d)となる。付帯構造物の有・無の場合とも無視できない割合を占めることから、付帯構造物は緩傾斜堤の安定性にあまり関係がないようである。同様に、緩傾斜堤が被災している海岸における付帯構造物の設置状況を図-2(e)に示すが、図-2(d)とあまり大きな変化はない。

次に、緩傾斜堤ののり先に設置される基礎工の形状について「緩傾斜堤の設計の手引き」(建設省河川局, 1989)に順じて整理した。すなわち、根入れなしを形状①、根入れありを形状②として分類した。ただし、施工時には形状①でも実際には根入れがある場合には形状②と分類した。このようにして求めた緩傾斜堤ののり先における基礎工の設置状況を図-2(f)に示す。全国各地に設置されている緩傾斜堤のほとんどが形状②(根入れを行う方式)により施工されていることが分かる。

さらに、緩傾斜堤ののり面勾配の施工状況を図-2(g)に示す。のり面勾配1:3が21箇所(60.0%)と最も多く、次いで1:4が10箇所(28.6%)、1:5が4箇所(11.4%)と勾配が緩くなるほど頻度が減少する。

2.2 堤脚水深、根入れ深さと緩傾斜堤の安定性

緩傾斜堤の表のり面勾配($\cot \alpha$)とH. W. L. 時の堤

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 東海大学海洋土木工学科助教授

*** 正会員 工修 (財)国土開発技術研究センター

表-1 調査海岸一覧表

No	緩傾斜堤設置海岸名 (都道府県名)	被災の有無	所属海域	基礎工 タイプ	のり面 勾配	堤脚水深 d (m)	根入れの深さ h (m)	付帯構造物の有無、名称
1	小向海岸 (北海道)	有	オホーツク海	①	1:3	1.78	0	被覆ブロック
2	峰浜海岸 (北海道)	無	オホーツク海	②	1:3	-1.15	1.15	無
3	豊頃海岸 (北海道)	有	太平洋	②	1:3	-0.10	0.80	無
4	白砂海岸 (青森)	無	津軽海峡 (陸奥湾)	②	1:3	0.60	0.80	無
5	蟹川海岸 (青森)	無	津軽海峡 (陸奥湾)	②	1:3	0.07	0.90	離岸堤
6	三沢海岸 (青森)	有	太平洋	②	1:3	-0.25	0.47	無
7	浅内海岸 (秋田)	有	日本海	②	1:3	0	1.58	無
8	天王海岸 (秋田)	無	日本海	②	1:3	-2.20	0.85	無
9	渡辺谷海岸 (宮城)	無	太平洋 (志津川湾)	無	1:4	1.30	0.10	無
10	石巻長浜海岸 (宮城)	無	太平洋 (仙台湾)	②	1:3	-1.42	1.45	無
11	大曲海岸 (宮城)	無	太平洋 (仙台湾)	②	1:4	0.78	0.69	無
12	葛満田海岸 (宮城)	無	太平洋 (仙台湾)	①	1:4	-0.24	0	被覆石
13	名取海岸 (宮城)	無	太平洋 (仙台湾)	②	1:4	-3.31	1.10	無
14	久の浜海岸 (福島)	無	太平洋 (入江)	②	1:5	-3.13	2.92	離岸堤
15	草野・下神谷海岸 (福島)	無	太平洋	②	1:5	-3.12	2.07	消波ブロック
16	古崎海岸 (千葉)	有	太平洋	②	1:3	-1.00	0.25	無
17	富山海岸 (千葉)	無	浦賀水道 (入江)	②	1:3	-1.66	1.24	無
18	三浦海岸 (神奈川)	有	浦賀水道 (金田湾)	②	1:4	-0.76	1.55	無
19	四ツ郷屋海岸 (新潟)	無	日本海	②	1:3	-1.65	1.60	無
20	素浜海岸 (新潟)	無	日本海	②	1:3			離岸堤
21	大潟海岸 (新潟)	有	日本海	②	1:3			近隣に離岸堤
22	青海海岸 (新潟)	有	日本海	②	1:3			無
23	門前海岸 (石川)	無	日本海 (富山湾)	②	1:3	-2.60	1.50	無
24	七塚海岸 (石川)	無	日本海	②	1:4	-0.90	1.10	無
25	下箕田海岸 (三重)	無	太平洋 (伊勢湾)	②	1:4	0.53	1.92	突堤
26	米子海岸 (鳥取)	無	日本海 (美保湾)	②	1:4	1.16	0.30	離岸堤
27	敷川海岸 (島根)	有	日本海	②	1:5	-0.10	0.73	消波ブロック
28	小浜海岸 (島根)	無	日本海	②	1:3	0.37	0.40	無
29	高城海岸 (愛媛)	無	瀬戸内海 (高瀬)	①	1:4	3.19	0	被覆石、突堤
30	二丈海岸 (福岡)	無	日本海 (玄海湾、入江)	②	1:3	0.16	0.82	無
31	志布志海岸 (鹿児島)	無	太平洋 (志布志湾)	②	1:3	-1.31	1.50	無
32	岸良海岸 (鹿児島)	有	太平洋	②	1:5	-3.10	0.68	無
33	喜入海岸 (鹿児島)	無	太平洋 (鹿児島湾)	②	1:3	0	1.20	無
34	長崎島海岸 (鹿児島)	有	太平洋	②	1:3	-0.20	0.90	無
35	伊野川海岸 (沖縄)	無	太平洋	②	1:4			無

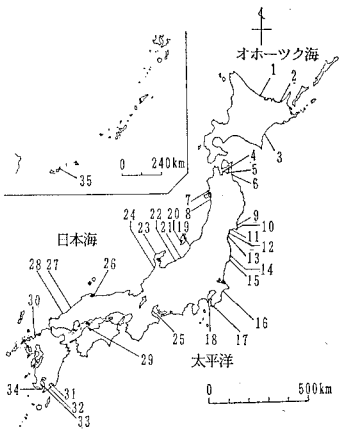


図-1 緩傾斜堤の被災状況調査地点

脚水深 (d) をパラメータとしたときの被災の有無を 図-3 に示す。これによると、データにばらつきがあるが、表のり勾配に係わらず堤脚水深 $d=0\text{m}$ 付近において緩傾斜堤が被災する場合が多い。この原因分析を進めるには、現在使われている緩傾斜堤の諸元の範囲についてより詳しく分析しておく必要がある。そこで、緩傾斜堤の設置位置と密接に関係する堤脚水深 d (H. W. L. 時) の状況を 図-4 (a) に示す。この図において、負の d は陸上に、正の d は水中に堤脚が位置することを

示す。図-4 (a) によると、 $-1\text{m} < d \leq 0\text{m}$ の堤脚水深を有する緩傾斜堤が最多の 9 箇所であるが、その前後を合わせた $-2\text{m} < d \leq 1\text{m}$ の間では 22 箇所と全体の 62.9% を占める。同様に、根入れ深さ (h) の頻度を 図-4 (b) に示す。既設の緩傾斜堤の根入れ深さは、2m 未満の場合が最多頻度である。また、根入れ深さが深くなるほど施工箇所は少なくなる。堤脚水深は実際に沿岸漂砂によって顕著な地形変化の見られる水深約 10m 以浅 (宇多, 1990) と比較すると浅く、しかも構造物ののり先が汀線付近に来るときの根入れ深さが高々 2m 程度あって、汀線付近で期待される地盤変動量と同じオーダーであることから、施工法によっては緩傾斜堤の安定性は容易に損なわれてしまうことになる。

H. W. L. 時の堤脚水深 d , 根入れ深さ (h) および被災の有無の関係を 図-5 に示す。図には外洋に面した海岸と内湾・入江に位置する海岸のデータの区別もつけた。内湾・入江のデータでは被災例が一つしかないので精度は落ちるが、 $-1\text{m} \leq d \leq 0\text{m}$ でのみ被災が生じる傾向がある。一方、外洋に面した海岸では No. 32 のデータを除けばほぼ $d \geq -1\text{m}$ に被災有が集中している。堤脚が H. W. L. より 1m 以上陸側に来る場合 ($d < -1\text{m}$)、設置海域を問わず緩傾斜堤は安定傾向を示す。またその場合安定性には根入れ深さはほとんど無関係である。図-5 で他のデータと大きくはずれた No. 32 (岸良

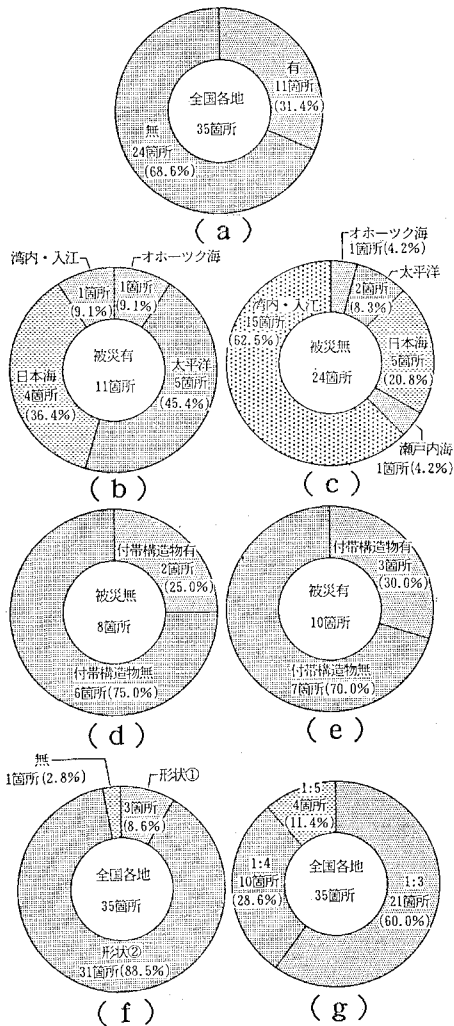
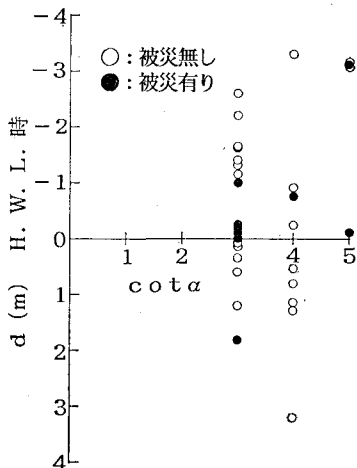
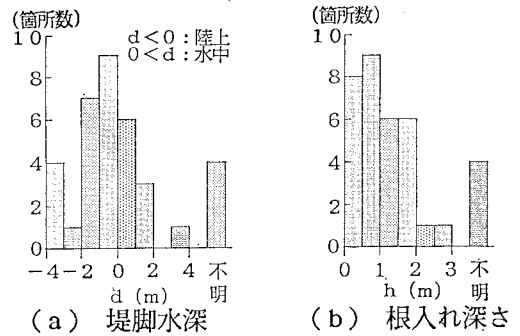
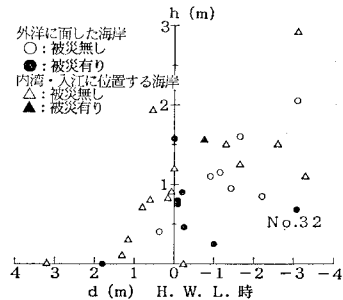


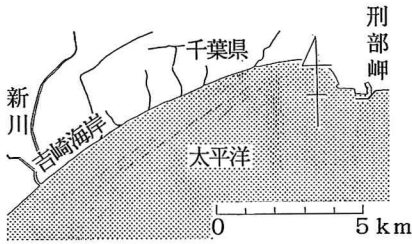
図-2 緩傾斜堤の被災の有無

図-3 表の勾配 ($\cot \alpha$) と堤脚水深 (d) の関係図-4 堤脚水深 (d) と根入れ深さ (h) の頻度図-5 堤脚水深 (d) と根入れ深さ (h) による被災の有無の分類

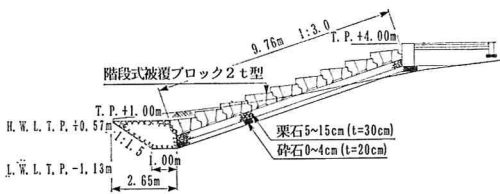
海岸)の緩傾斜堤は、計画時には $d = -3.10\text{m}$ で、形式②の基礎工により施工される予定であったが、実際には侵食が進み、堤脚水深は $d = -1.31\text{m}$ に近づいたことから、実際には矛盾がない。結局、緩傾斜堤を確実に安定させるには $d < -1.0\text{m}$ とすることが望ましいことが分かる。また、波浪が比較的静穏な湾内や入江に位置する海岸であれば、堤脚が水中にあっても安定性は確保できる。

3. 緩傾斜堤の被災過程

千葉県の子崎海岸を例として緩傾斜堤が被災に至るまでの過程を調べてみる。子崎海岸は九十九里海岸に位置し、太平洋に面しており、外洋からの波浪に直接さらされている(図-6)。設置された緩傾斜堤の標準断面図を図-7に示す。堤脚水深は $d = -1.00\text{m}$ 、根入れ深さは $h = 0.25\text{m}$ である。この緩傾斜堤の堤脚水深は、図-5の $-1\text{m} \leq d \leq 0\text{m}$ の範囲にあり、外洋に面した海岸に設置されて被災した典型である。基礎工(写真-1)を見ると、捨石はむき出しの状態になり、この時点で根入れは存在しない。また写真-2を見ると、緩傾斜堤の両端において砂浜が流失し、汀線は維持されたものの侵食が岸方向に進み、浜崖が後退して緩傾斜堤のみが孤立した状態となった。その後、1986年に施工された緩傾斜堤



図—6 千葉県の吉崎海岸の位置



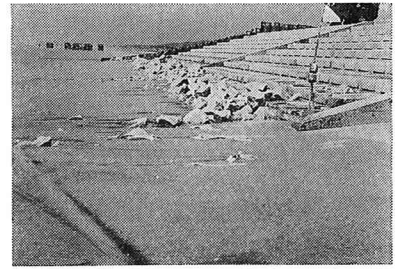
図—7 吉崎海岸の緩傾斜堤の設計諸元

は、1987年には沿岸方向に延長されている。そして、1990年2月19日に撮影された写真—3を見ると、隔壁で挟まれた一区画の被覆ブロックが大きく沈下している。しかし、隔壁が存在しているために、隣接区域への被害を防いでいる。この海岸に限らず、外洋に面した海岸では、たとえ奥まった位置に緩傾斜堤が造られようと、 $-1\text{ m} \leq d \leq 0\text{ m}$ の範囲に堤脚水深が位置する緩傾斜堤は、何らかの要因により沿岸漂砂の不均衡が生じた場合、被災する可能性が大きい。

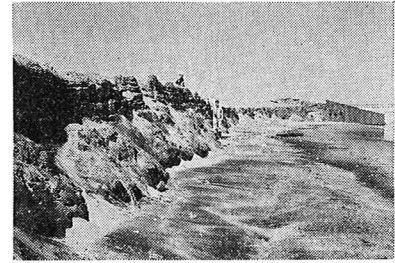
4. 安定な緩傾斜堤とその問題点

仙台湾に面する大曲海岸の緩傾斜堤の堤脚水深は $d > 0\text{ m}$ の範囲にあるが、この範囲で緩傾斜堤が安定性を維持できるのは、湾内や内海に位置する場合である。大曲海岸は、仙台湾の湾奥部に位置するからこの条件が満たされている。堤脚水深は $d = -0.78\text{ m}$ 、根入れ深さは $h = 0.69\text{ m}$ である。緩傾斜堤の設置状況を写真—4に示す。のり面は沿岸方向に長大であるが、安定性を十分維持している。しかし、写真に示すように、被覆ブロックが常に水に接している場合、被覆ブロックに生物が付着して滑り易く、結果的に水際までたどり着けない場合がある。このようなことから、被覆ブロック上に少しでも砂が堆積できるようにすることが望ましいと考えられる。

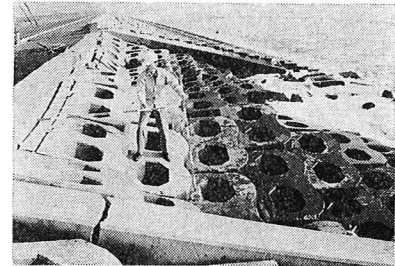
次に、緩傾斜堤が十分安定性を確保している例として、千葉県の富山海岸の例をあげることができる。この海岸は浦賀水道に面し、西ヶ崎と南無谷崎の間に位置する砂浜海岸である。この海岸の緩傾斜堤は堤脚水深が $d = -1.66\text{ m}$ 、根入れ深さが $h = 1.24\text{ m}$ である。緩傾斜



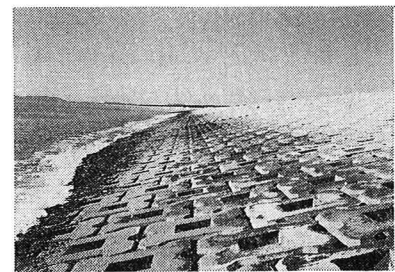
写真—1 吉崎海岸の緩傾斜堤 (1987年5月撮影)



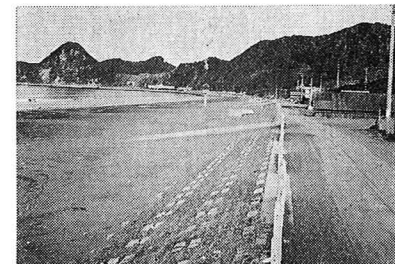
写真—2 緩傾斜堤の西南側端部の浜崖形成状況 (1987年5月撮影)



写真—3 緩傾斜堤の被災状況 (1990年2月19日撮影)



写真—4 宮城県の大曲海岸の緩傾斜堤ののり面



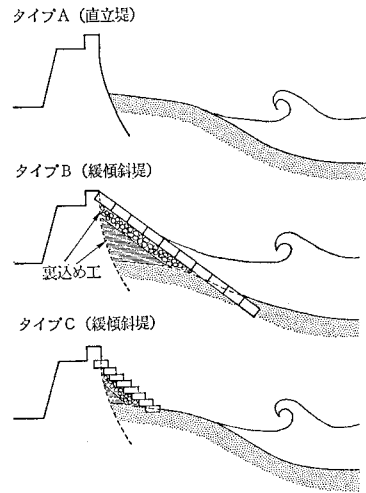
写真—5 千葉県の富山海岸の緩傾斜堤

堤の設置前には飛砂防止用のフェンスがあるので、海岸保全施設は存在しなかった。その後、緩傾斜堤が設置された（写真—5）。設置された緩傾斜堤の海側には十分広い前浜があり、通常の潮位・波浪条件では緩傾斜堤ののり先まで波は作用しないと考えられるので、安定性は十分であり、また景観上も構造物は控えめに見える。また、被覆ブロックには芝が張られており、被覆ブロックがむき出しの状態に比べ、圧迫感もなく広々とした海岸のイメージがある。本来、緩傾斜堤の使用法として、このような砂浜に設置されれば、アクセスを向上させながら海岸保全施設としての機能を十分果たすことができるはずである。

5. 緩傾斜堤の望ましい施工法

一般に、緩傾斜堤は直立堤に比較して海浜へのアクセスの改良になると言われている（建設省河川局，1989）。図—8 を参照した時、タイプAでは直立堤から汀線域へと入りにくく、また昇降路はあっても汀線と陸域を断絶する感じは否めない。しかし、この場合少なくとも堤防の前面には砂浜があり、それは波が構造物に至るまでの緩衝帯の役割を果たしていることに注意が必要である。直立堤におけるアクセスの悪さを単純に考え、表のり面勾配を緩くすれば問題は片付くと考えるのは早計である。もし、図—8 のタイプBのようにすれば確かに表のり勾配は緩くなるが、それによる代償も大きい。なぜなら、この緩傾斜堤は貴重な前浜（緩衝帯）を消失させてしまうからである。このように造られた場合、緩傾斜堤ののり先は汀線付近に来ることになるが、ここでは波による底質移動が盛んであるから、のり先より堤体の基礎が吸い出されることによって緩傾斜堤は非常に被災し易くなる。特に、それほど広くない前浜をもつ海岸において、既存の堤防法線より緩傾斜堤の法線を海側へ移したり、あるいは天端高を高めたときタイプBの緩傾斜堤は被災し易い。また、本来の目的である消波効果から見たとき、タイプBでは緩傾斜堤ののり先が水面下まで来るので、波は遡上し易くなり、必ずしもタイプAより消波効果の向上につながらない。さらに、のり先が常に海水に接した状態になれば、汀線付近の2~3段には必ず生物が付着し、そこは滑り易くなるので、事実上汀線へ近づけず、アクセスの改良にならない。

緩傾斜堤の使用法の望ましい姿として、ここでは図—8 のタイプCを提案したい。すなわち緩傾斜堤はできる限り控え目に造り、緩傾斜堤ののり先に砂浜または礫浜を残すよう設計することである。緩傾斜堤を造った効果としてこのような形で土砂が堆積することはあり得ないので、ヘッドランドや離岸堤などの構造物により土砂の移動を制御し、海浜を保全する必要がある。このよう



図—8 直立護岸と緩傾斜堤の比較

にできれば、海浜へのアクセスの改善が図れ、また緩傾斜堤が被災することも少なくなるはずである。

6. 結 論

①全国から選択された35箇所の緩傾斜堤では、全数の約1/3に被災が見られ、被災の多いのは太平洋や日本海などに直面する海岸であり、逆に湾内や入江に造られた場合安定性が良いことが分かった。

②堤脚水深（ d ）は $-2\text{m} \leq d \leq 1\text{m}$ の場合が多数を占める。ここに負の d は堤脚が陸上にある場合である。また、根入れ深さは2m未満が多数を占める。

③緩傾斜堤の安定性は、堤脚水深（ d ）と密接な関連を有し、内海や内湾に面した海岸で被災が多いのは d が $-1\text{m} \leq d \leq 0\text{m}$ の範囲であり、外洋に面した範囲では $d \leq -1\text{m}$ の範囲であることが分かった。また、緩傾斜堤の安定性は、根入れ深さにあまり関係しなかった。

④従来、緩傾斜堤は勾配さえ緩ければ海浜へのアクセスが改良されると考えられていたが、実際には緩傾斜堤ののり先が水面下となる場合、海側の2~3段のブロックは生物が付着することによって滑り易くなり、この結果水面まで近づけず、アクセスの改良にならないことを指摘した。勾配が緩いのみでは不十分であり、その前面に砂浜または礫浜が存在することが望ましい。

なお、本研究は筆者の一人（柳澤）が東海大学海洋学部の修士論文の一環として行った研究の一部である。

参 考 文 献

- 建設省河川局海岸課監修（1989）：緩傾斜堤の設計の手引き、（社）全国海岸協会，pp. 42-43.
- 宇多高明（1990）：波による移動限界水深を定める代表波の選定法，海岸工学論文集，第37巻，pp. 294-298.