

# 海岸堤防の老朽化に伴いパラペットに発生する ひび割れ特性に関する現地調査

FIELD SURVEY OF CRACKS OCCURRED ON THE PARAPET OF OLD AND  
AGE-ADVANCING CONCRETE ARMORED COASTAL DIKE

吉田吉治<sup>1</sup>・加藤祐也<sup>2</sup>・岩田好一朗<sup>3</sup>  
Yoshiharu YOSHIDA, Yuya KATOH, Koichiro IWATA

<sup>1</sup>正会員 工修 中部大学講師 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

<sup>2</sup>正会員 工学 市川工務店 (〒500-8518 岐阜県岐阜市鹿島町六丁目 27)

<sup>3</sup>フェロー 工博 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

The technical management of old and age-advancing concrete armored coastal dikes to function longer is currently required. The purpose of this investigation is to discuss the number, location and width of cracks occurred on the parapet of old concrete armored coastal dikes along Mikawa Bay, by means of field measurement. The field measurement shows clearly that the crack width increases with advancing age of the coastal dike and that number of cracks increases as the design wave height becomes higher. The crack is found out to increase remarkably on the parapet length of 9.5m~10.5m. The crack width of the banking-type coastal dike constructed more than 40years ago is revealed to be 1mm~73mm, which is much larger than 1mm~15mm of the retaining wall-type coastal dike constructed 23~28years ago. In addition, with increasing number of cracks, crack-occurrence locations are found out to be spread from central part to overall the parapet crown.

**Key Words:** *Field survey, concrete armored coastal dike, parapet, cracks, cracking patterns on parapet, number and positions of cracks, probability of crack occurrence, maximum crack width*

## 1. 緒言

我が国の海岸保全施設は、2000年度の調査結果<sup>1)</sup>によれば、築後30年以上経過したものが約68%、築後40年以上経過したものが約46%に達している。その後現在に至るまでに、この数値は大きくなっている可能性が高いと推定される。コンクリート張り海岸堤防は、築後の経年変化に伴いひび割れや不等沈下が発生するので、コンクリート張り海岸堤防の維持補修を効率的に行い長寿命化を図るためには、老朽化の実態を正確に把握しておくことが必要不可欠であることはその言を待たない。

築後40年以上経過した高知県の菜生海岸で発生した異常高潮・高波で、コンクリート3面張り海岸堤防のパラペット(波返し部)が崩壊し、数名の人名が奪われるという痛ましい海岸災害の発生は、我々の記憶に新しい。コンクリート3面張り海岸堤防については、天端被覆工や裏法被覆工については老朽化の状況に応じて補修が行われるが、パラペットについては、海岸堤防の更新時に新しく造り替えられる場合を除いて、補修されることは稀である。このため、パラペットにはひび割れの発生が認めら

れるが、ひび割れの発生位置、発生本数、ひび割れ幅などの特性については、これまで論議されたことはなく、その実態は不明である。

三河湾沿岸に面する海岸堤防のほとんどは昭和28年の台風13号と昭和34年の台風15号による被災直後に建設されたため、築後50年以上経過しているので老朽化が進んでいるものが多い。また、築後23年経過したコンクリート張り海岸堤防にもひび割れ等の発生が認められる。このため、本研究では、三河湾沿岸にある築後23年以上経過したコンクリート張り海岸堤防のパラペットに発生するひび割れに着目して現地調査を実施して、ひび割れの発生位置、発生本数、ひび割れ幅などのパラペットに発生するひび割れの特性の実態を明らかにするとともに、海岸堤防の築後年数、パラペット打ち継ぎ長さや築堤方式などとの関連について若干考究したので、その結果を報告するものである。

## 2. 既往の研究

海岸堤防の老朽化に関する研究は、海岸堤防のラ

ライフサイクルマネジメントと関連づけてごく最近始められたため、十分な研究成果は得られていない<sup>1)~4)</sup>。コンクリート3面張り海岸堤防のひび割れについては、吉田ら<sup>4)</sup>の研究がある。

吉田らは、築後40年以上経過したコンクリート3面張り築堤式海岸堤防に発生するひび割れに関する現地調査を行い、(1)天端被覆工に発生するひび割れは、大きく8パターンに分類され、基本パターンに比べ複合パターンの発生頻度が高い、(2)築後年数30年の海岸堤防に比べて、築後40年以上経過した海岸堤防の場合は、ひび割れ発生確率が高くなる、(3)パラペットと天端被覆工に同時にひび割れが発生する確率は、築後40年以上であれば築後年数にあまり左右されないが、天端被覆工と裏法面、パラペットと裏法面に同時にひび割れする確率は築後40~49年に比べて、築後50年経過すると約2~5倍大きくなるなどの事実を明らかにしたが、パラペットに発生するひび割れの特性についてはほとんど議論を行っていない。また、著者らの知見の範囲では、パラペットに発生するひび割れを取り扱った研究を見出すことは困難である。

### 3. 現地調査

#### (1) 調査対象地域

調査対象の海岸堤防は三河湾に面する田原海岸、福江港海岸、福江漁港海岸、豊橋海岸、三河港海岸・西浦地区に建設されている海岸堤防である。このうち、三河港海岸・西浦地区の海岸堤防はコンクリート張り擁壁式海岸堤防であり、この西浦地区以外の調査対象地域の海岸堤防は全てコンクリート3面張りの築堤式海岸堤防である。調査対象の海岸堤防のパラペット総数は843パネル(擁壁式海岸堤防115パネル、築堤式海岸堤防728パネル)であり、パラペット総延長は約13.8kmに及ぶ。なお、本研究では、パラペットの打ち継ぎ目地から次の打ち継ぎ目地までを1パネルと定義した。

この調査対象の海岸堤防の周辺状況と設計波高は表-1に示されている。すなわち、三河港海岸・西浦地区海岸の場合は、堤体前面に前浜がある場所と前浜がなく消波ブロックが設置されている場所が混在

表-1 海岸堤防の周辺状況と設計波高

海岸	設計波高(m)	型式	前面	背後
福江漁港	1.1~2.0	築堤	干潟	水路
福江港	0.9~2.0	築堤	干潟	水路
田原	0.5~2.0	築堤	干潟	水路
豊橋	0.8~2.3	築堤	干潟	水路
三河港・西浦地区	2.3	擁壁	砂浜あるいは消波ブロック	一般道路

している。そして、天端被覆工は側溝を挟んで一般道路面に接続している。一方、この西浦地区以外の全ての築堤式海岸堤防の前面は干潟であり、また裏法面直背後には水路が設置されている。設計波高は、西浦地区の海岸堤防の場合は2.3mで大きい。一方、西浦地区以外の海岸堤防では設計波高は、0.5~2.3mであるが、このうち、上限値の2.0mあるいは2.3mは防波堤建設前あるいは海岸埋立前の設計波高であり、その後周辺での防波堤新設や海岸埋立により、20年前頃より設計波高が低減し、下限値の0.5~1.1mになっている<sup>5)</sup>。

#### (2) 調査方法

パラペットに発生するひび割れの特性量として、ひび割れ本数、ひび割れ発生位置、ひび割れの幅を選定した。なお、ひび割れ深さとひび割れ長さについては正確な計測が不可能なので、調査対象項目から外した。そして、843パネル全てについて、目視計測と計器計測によりひび割れ特性量の計測を行った。

本論で取り上げるひび割れは、パラペット天端部に発生するひび割れであり、パラペットの陸側側壁のみに発生するひび割れについては調査対象としていない。これは、本調査の場合、ひび割れがパラペット天端部に集中して発生していたこと、パラペットの陸側側壁だけにひび割れが発生する場合は皆無であったためである。なお、擁壁式海岸堤防の場合では、パラペット陸側側壁にひび割れの発生が認められたが、この場合、天端部にもひび割れが同時に多く発生していた。

目視調査によりひび割れ発生個数を計測した。計器調査では30mエスロンテープを使用して、パラペット天端長とひび割れ発生位置を測定した。ひび割れ幅については、mm目盛付5mスチール尺を使用して測定した。現地調査は、平成19年6月30日、8月9日、8月10日、8月22日、9月8日・9日、10月13日の7日間に亘って行われ、1日当たりの調査時間は6~10時間であった。なお、1回の調査は3~4人で行われた。

#### (3) 解析方法

目視計測と計器計測で得られたひび割れ特性量(ひび割れ本数、ひび割れ発生位置とひび割れ幅)を使用して、パラペットの天端長さ、海岸堤防の築堤方式、設計波高、海岸堤防の表法面と裏法面周辺状況、海岸堤防の築後年数などに関連付けて、統計的・確率的な観点からひび割れ幅の分布、ひび割れ本数別の発生位置、最大ひび割れ幅、ひび割れの発生確率などの実態を解析する。なお、ひび割れ幅は一定でないので、ひび割れ幅を議論する場合は、防災面の観点から、1本のひび割れで認められる最大のひび割れ幅( $B_{max}$ )を指標として採用した。

#### 4. 調査結果とその考察

##### (1) パラペットの天端幅と天端長

調査を行った田原海岸、福江港海岸、福江漁港海岸、豊橋海岸にある築堤式海岸堤防および三河港海岸・西浦地区にある擁壁式海岸堤防ともに、パラペット天端幅はすべて約50cmで一定であった。

一方、パラペット天端長は一定ではなく、田原海岸、福江港海岸、福江漁港海岸と豊橋海岸の4地区は、**図-1**に示すように、約2.0m～約16.5mの範囲に分布する。最も多いのは9.5m～10.5mであり、築堤式海岸堤防では全体の77%に当たる。

また、三河港海岸・西浦地区の擁壁式海岸堤防では、本論では図示しないが、パラペット天端長は約3.0m～約14.5mに分布し、最も多いパラペット天端長は、築堤式同様、9.5m～10.5mであり、擁壁式海岸堤防では全体の61%に相当していた。このことから、パラペットの天端幅50cm、天端長約10.0m(9.5m～10.5mの平均値)が、この調査対象地域の標準的なパラペットであると考えられる。この天端9.5m～10.5m長のパラペットについては、築堤式海岸堤防では、パラペットのひび割れ発生パネルは全パネル数570の内442であり、ひび割れの発生確率は約77.5%であった。また、擁壁式海岸堤防では70の内68であり、約97.1%であった。

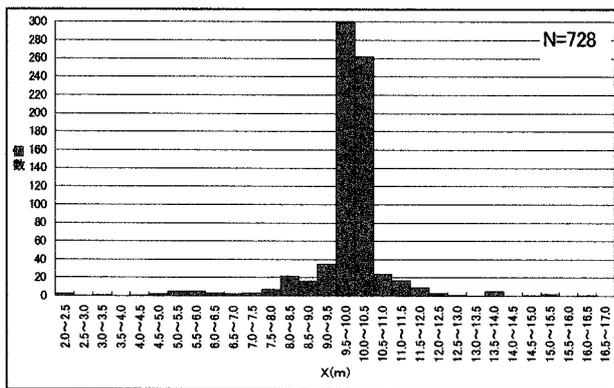


図-1 築堤式海岸堤防のパラペット長の分布  
(Nはパラペット数)

##### (2) ひび割れのパターン

パラペットの天端部には、**写真-1**に示すようなパラペット天端長方向(沿岸方向)に卓越して発生する“斜めひび割れ”と**写真-2**に示すようなパラペットを岸沖方向に横切って発生する“縦ひび割れ”が認められた。このうち、“斜めひび割れ”の発生は稀であり、調査対象の海岸堤防では、“縦ひび割れ”が全体の99%を占めていた。なお、縦ひび割れについては、**写真-2**に示すような天端被覆工に達する縦ひび割れとパラペット天端近傍部に限定される縦ひび割れの2種類が認められた。

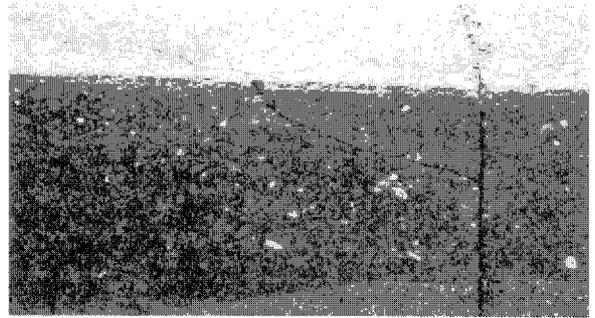


写真-1 “斜めひび割れ”の例示

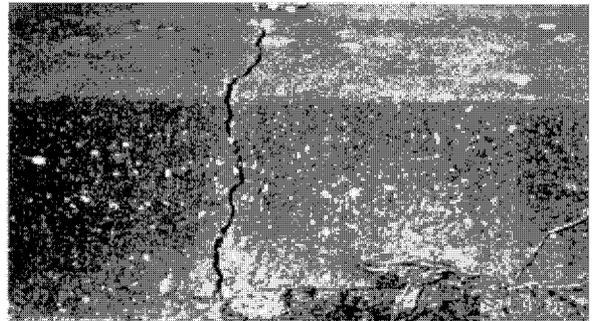


写真-2 “縦ひび割れ”の例示

ひび割れの発生原因としては、コンクリートの収縮乾燥、堤体に作用する波力、砂礫の衝突、風雨・氷雪の作用、管理用通路(堤体天端被覆工)を利用する車輛荷重、施工不良などが複雑に重なり合うためと考えられるが、堤体内部の埋立土砂の堤体外への吸い出しによる堤体内部の空洞化とそれに伴う海岸堤防の不等沈下も大きな原因と推測される。

しかしながら、ひび割れ発生とひび割れ進展に及ぼすこのような各種要因の定量的な寄与率については、本研究では議論していない。取り組むべき大変重要な課題の一つなので、今後検討していく所存である。

##### (3) ひび割れ幅

**図-2**～**図-3**は、パラペットに発生するひび割れ幅 $B$ の最大値 $B_{max}$ とその無次元発生位置 $x/X$ をひび割れ本数 $n$ 別に示したものである。ここで、 $X$ はパラペット天端長、 $x$ はパラペット打継目地から右手方向に測った距離、 $N$ はパラペット数である。

同図から、①ひび割れ幅 $B_{max}$ がばらつくこと、②ひび割れ幅 $B_{max}$ は6～8mm以下が圧倒的に多いこと、③ひび割れ本数 $n$ が $n \leq 4$ あるいは5と少ない場合はひび割れ本数 $n$ が $n > 4$ あるいは5と大きい場合よりひび割れ幅 $B_{max}$ が大きくなる場合があること、④15mm以上の大きなひび割れはパラペット天端中央部に発生し易いこと、⑤ひび割れ幅 $B_{max}$ は築堤式海岸堤防の場合は $B_{max} \leq 73\text{mm}$ 、擁壁式海岸堤防では $B_{max} \leq 15\text{mm}$ であることなどが認められる。

また、擁壁式海岸堤防の場合のひび割れ幅 $B_{max}$ が築堤式海岸堤防の場合と比較して小さいことが認められるが、これは、築後年数が23年～28年であり、築堤式海岸堤防の場合(築後年数50年～53年)と

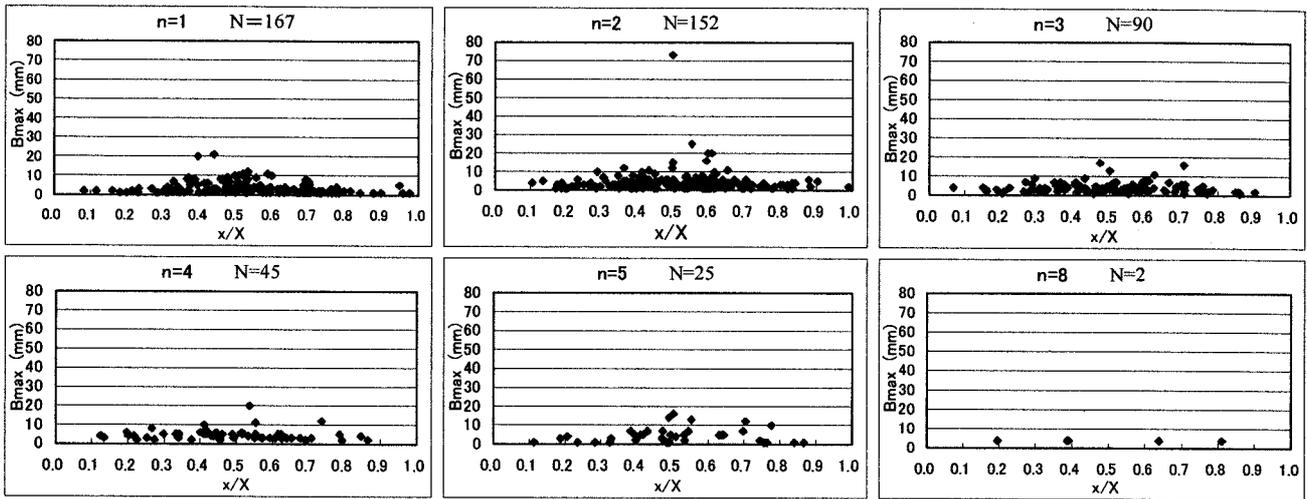


図-2 築堤式海岸堤防のひび割れ幅  $B_{max}$  とその発生位置 (築後 50 年以上)

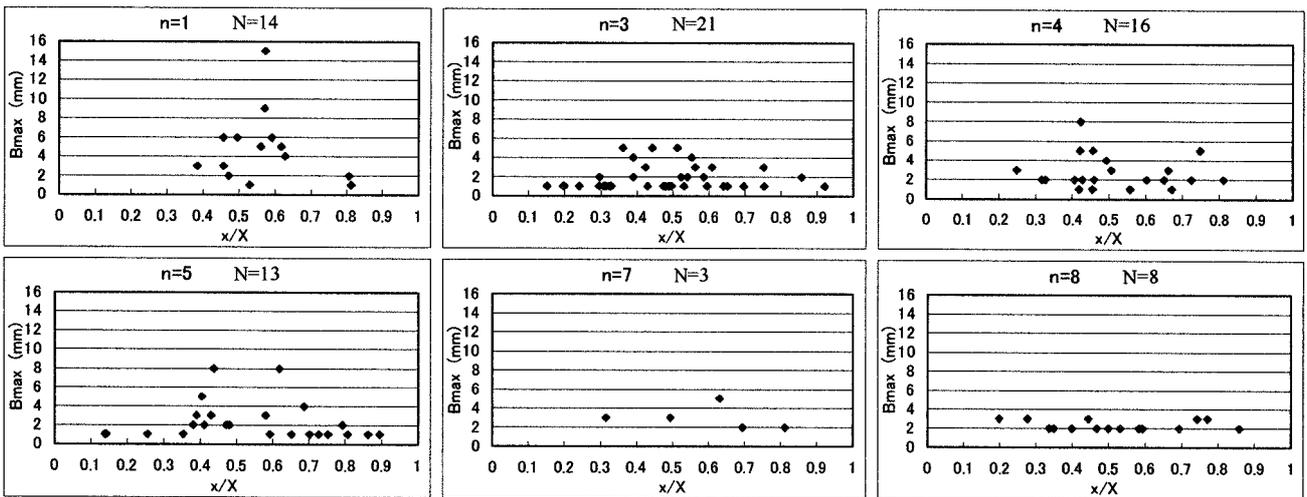


図-3 擁壁式海岸堤防のひび割れ幅  $B_{max}$  とその発生位置 (築後 23~28 年)

比較して材料劣化に伴う老朽化がそれほど進展していないことが大きな要因と推測されるが、詳細については更なる検討が必要である。

なお、本論では図示していないが、築堤式海岸堤防のひび割れ幅  $B_{max}$  は、築後 50 年未満および築後 50 年以上では異なり、築後年数が大きい程ひび割れ幅  $B_{max}$  が大きくなることが認められたことを付記しておく。

#### (4) ひび割れ発生本数

図-4 は築堤式海岸堤防のパラペット天端長  $X$  とパラペットのひび割れ本数  $n$  を示したものである。なお、図中の実測値の右肩の数字はパラペット個数を示している。

同図によれば、パラペット天端長によりひび割れの発生状況が異なり、パラペット天端長が 4m 未満の場合はひび割れが発生しないが、天端長が 12m 以上であればひび割れが必ず発生している。しかし、天端長が 4m~12m の場合は、ひび割れの発生がない

場合、複数のひび割れが発生する場合などひび割れの発生は複雑であることが認められる。天端長が 9.5m~10.5m でひび割れ発生本数が増大するが、築後年数 50 年未満の築堤式海岸堤防のひび割れ発生本数は高々 4 本である。しかし、築後 50 年以上経過すると最大で 8 本に増大するので、老朽化が進むとひび割れの発生本数は多くなることが認められる。

一方、擁壁式海岸堤防の場合は、最大で 12 本のひび割れが発生し、図-5 に示すように、8 本以上のひび割れ発生は全体の 12.3% におよんでいる。これは、先述したように三河港海岸・西浦地区の設計波高が 2.3m であり、他の築堤式海岸堤防の設計波高よりかなり大きいため、築後年数が 23 年~28 年でもひび割れの発生個数が多くなったものと推測されるが、検討の余地が残されている。

図-6 は、築堤式海岸堤防の築後年数とひび割れ最大発生本数と平均ひび割れ発生本数の関係を示したもので、ひび割れ本数は、築後 48 年で最大 3 本、平均で 0.8 本、築後 53 年で最大 2 本で平均 1.3 本発生

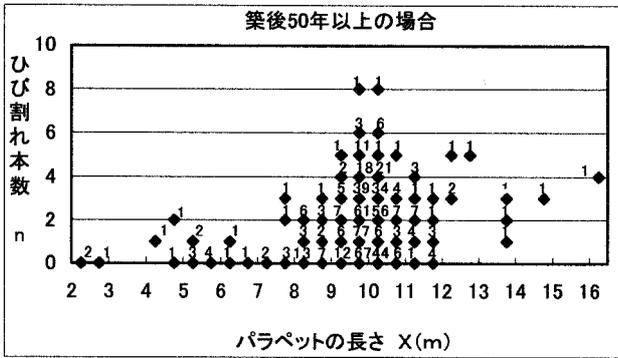
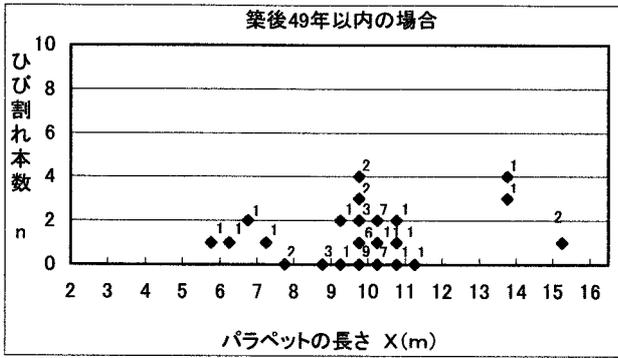


図-4 築堤式海岸堤防のひび割れ発生本数

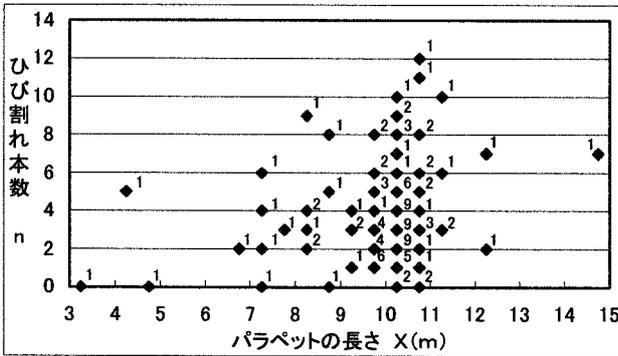


図-5 擁壁式海岸堤防のひび割れ発生本数

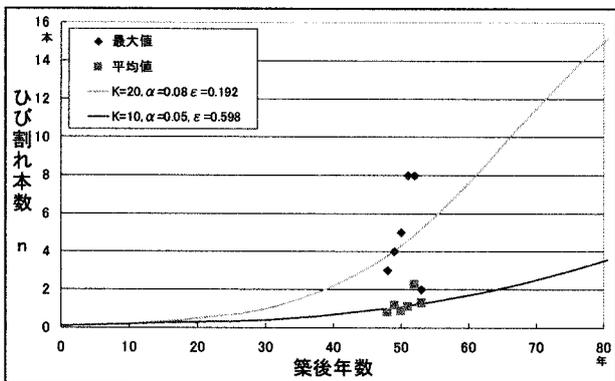


図-6 築後年数とひび割れ本数

することが認められ、築後年数の増加につれてひび割れ本数が増加することが再確認できる。なお、同図には、ロジスティック曲線(式(1))が示されているが、図中の曲線は実測値とベストフィットするように係数Kと $\alpha$ と $C_0$ が同定されている。

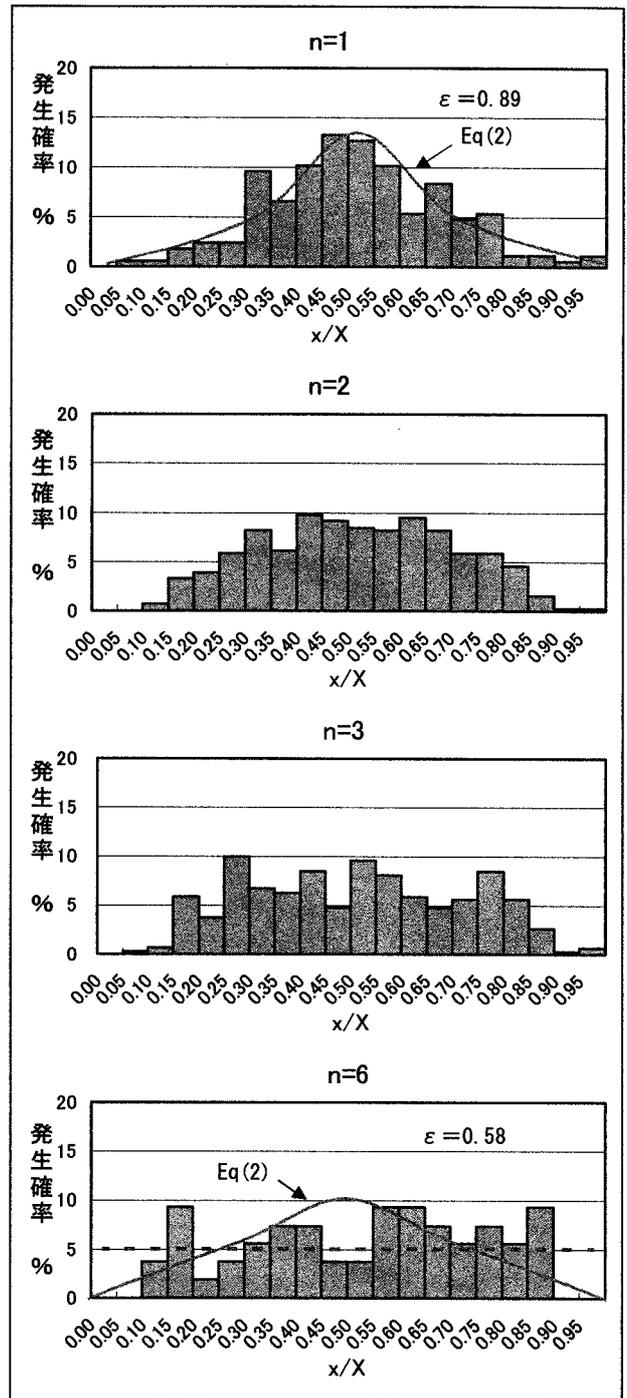


図-7 ひび割れ発生位置とひび割れ発生確率  
( $\epsilon$  : 相関係数)

$$n(t) = \alpha \left( \frac{1}{K} + C_0 e^{-\alpha t} \right)^{-1} \quad (1)$$

実測値が少なく、相関係数 $\epsilon$ が0.192と0.598と低いので、ロジスティック曲線の適用について今後の検討が必要であるが、予測モデル式としての可能性を秘めていると著者らは考えている。

### (5) ひび割れ発生位置

図-2 および図-3 で既に表示されているように、ひび割れはパラペット天端部の特定の位置に発生するのではなく、ひび割れ発生位置は不規則である。このため、ひび割れ発生位置の分布特性について考察してみる。

図-7 に例示されているように、ひび割れ発生位置は、ひび割れ本数  $n$  により変化し、 $n=1$  の場合はほぼパラペット中央部にひび割れが発生する頻度が高いことが認められる。また、 $n=2$  では  $x/X=0.3$  および  $0.6$  付近、 $n=3$  のときは  $x/X=0.3$ 、 $0.5$ 、および  $0.7$  付近にひび割れが幾分集中するようであるが、しかし  $n \geq 4$  では、パラペット天端部全体にひび割れが発生する傾向が強くなることが判明する。このことは、図-7 に同時に示されているガウス分布式(式(2))と実測値との相関係数  $\varepsilon$  が  $n=1$  の時  $0.89$  と高いが、 $n=6$  の場合は  $0.58$  に低減し、むしろ一様分布の値(5.1%)に近くなることから確認できる。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

( $\sigma$ :標準偏差,  $\mu$ :平均値)

## 5. 結論

以上、本研究では、三河湾沿岸にある築後 23 年以上経過したコンクリート張り海岸堤防のパラペットに発生するひび割れに着目して現地調査を実施して、ひび割れの発生位置、発生本数、ひび割れ幅などのパラペットに発生するひび割れの特性の実態を示すとともに若干の考察を加えた。

本研究で得られた結論を以下に要約する。

- (1) パラペットには、“斜めひび割れ”と“縦ひび割れ”が発生するが、“斜めひび割れ”の発生は稀であった。
- (2) 最大のひび割れ幅 ( $B_{max}$ ) は、築後年数および設計波高が大きくなるにつれて増大するようであり、築堤式海岸堤防では  $B_{max} \leq 73\text{mm}$ 、擁壁式海岸堤防では  $B_{max} \leq 15\text{mm}$  であった。なお、 $B_{max}$  が  $73\text{mm}$  のような大きなひび割れ幅は、築後年数が 50 年以上のパラペットで認められた。
- (3) パラペット天端長によりひび割れの発生状況が

異なり、パラペット天端長が 4m 未満の場合はひび割れが発生しないが、天端長が 12m 以上であればひび割れが必ず発生する。天端長が 4m~11m の場合は、ひび割れが発生しない場合、複数のひび割れが発生する場合が混在し、ひび割れの発生機構は複雑である。

(4) 築堤式海岸堤防の場合は、築後年数が 50 年未満の場合のひび割れ発生本数は高々 4 本であったが、築後 50 年以上になるとひび割れ発生本数は最大で 8 本認められた。一方、作用波高の大きい擁壁式海岸堤防の場合は最大で 12 本程度のひび割れが発生し、8 本以上のひび割れが発生するのは全体の 12.3%に及んでいた。

(5) ひび割れ発生位置はひび割れ本数により異なり、ひび割れ本数の増加に伴いひび割れは、パラペットの中央部から目地打ち継ぎ部の範囲に幅広く広がる。

### 追記

本研究ではパラペットに発生したひび割れの幾つかの実態を明らかにしたが、その発生機構と現状に至るまでのひび割れ進展機構に関しては検討を加えていない。築後年数や作用波などと関連づけてひび割れ発生進行機構を検討するには、作用波によるパラペットの応力解析、振動や乾燥収縮によるひび割れ発生解析などが必要であり、この面における研究の進展に期待するところが大きい。

### 参考文献

- 1) 難波喬司・横田弘・橘義規・田中樹由・岩田好一朗:海岸保全施設における LCM(ライフサイクルマネジメント)の導入検討, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 50 巻, pp. 916-920, 2003.
- 2) 藤田光一・中村瑛佳・山本剛・田中浩光・鳥居謙一・野口賢二:伊勢湾西南海岸における堤防老朽度評価, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 49 巻, pp. 911-915, 2002.
- 3) 田中浩光・田中茂信・大中武易・土屋文人:築堤後 50 年を経過した海岸堤防の評価, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 51 巻, pp. 876-880, 2004.
- 4) 吉田吉治・山内祐子・岩田好一朗:築後 40 年以上経過した築堤式海岸堤防のひび割れに関する現地調査, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp. 333~337, 2007.
- 5) 国土交通省中部地方整備局・(財)沿岸開発技術センター:平成 12 年度伊勢湾波浪検討調査報告書(概要版), 平成 13 年 3 月, 61p, 2001.