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

FIELD SURVEY OF CRACKS OF CONCRETE ARMORED COASTAL DIKES CONSTRUCTED MORE THAN 40 YEARS AGO

吉田吉治¹・山内祐子²・岩田好一朗³

Yoshiharu YOSHIDA, Yuko YAMAUCHI, Koichiro IWATA

¹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)

²正会員 工学 山内建設興業株式会社 (〒441-3605 愛知県田原市江比間町二字郷中 39-2)

³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)

Lifecycle management of coastal dikes is required for making their life span as longer as possible. The purpose of this study is to investigate cracks, unevenness and compressive strength of concrete armored coastal dikes constructed more than 40 years ago along Mikawa Bay, by means of field measurement with 30m tape, 30cm steel rule with mm scale, level and Shumitt hammer. The field measurement shows that crackings are classified into seven patterns, and that the probability of crack occurrence on the concrete armored crown is about 0.4, which is higher than those of the seaward and landside slopes of the coastal dikes. The averaged crack-propagating speed per year after construction is found out to be less than 0.32cm/y on the armored crown and less than 0.17cm/y on the armored seaward and landward slopes.

Key Words: Field Survey, Concrete armored coastal dike, Patterns of cracking of armoring work on crown, Crack-progressing rate, Probability of crack occurrence, Schmitt hammer

1. 緒言

海岸防災に果たす海岸保全構造物の役割は極めて大きいことはその言を持たない。しかし、わが国の海岸保全施設は、1960～1980 年代に急速に整備されたため、2000 年度には築後 30 年以上経過した海岸保全施設が海岸保全施設全体の約 68%、築後 40 年以上経過した海岸保全施設が全体の約 46%占めるに至った¹⁾。言うまでもなく、老朽化が進む海岸保全施設の維持補修を効率的に行うには、まず、その老朽化の実態を正確に把握することが必要である。このため、これまで海岸堤防の老朽化に関する現地調査が実地されているが^{2)～6)}、その実態が充分明らかになっていないのが現状である。本研究では、昭和 28 年の 13 号台風と昭和 34 年の 15 号台風による被災直後に建設され、築後 40 年以上経過し、ひび割れなどが発生して老朽化が進行している三河湾沿岸域の築堤式海岸堤防を取り上げ、発生ひび割れとそれに伴う海岸堤防の不等沈下、コンクリート被覆工の圧縮強度等の実態調査を行ったので、その結果を報告するものである。

2. 現地調査

(1) 現地調査地点

調査対象の海岸堤防は、三河湾に面する三河港豊橋地区海岸、田原海岸と一色海岸に建設されているコンクリート 3 面張りの築堤式海岸堤防である。三河港豊橋海岸堤防については損傷度の大きい 6 パネルを、また一色海岸堤防については、平成 17 年に竣工した損傷のない 2 パネルを選定した。重点的に

パラペット			
左端	中央	左端	右端
左上	右下	左上	右下
天端	中央	天端	中央
パネルA		パネルB	
左下	右下	左下	右下
裏法			

図-1 パネルの定義

調査したのは田原海岸の吉胡～汐川河口～紙田川河口部に至る全長約8Kmに亘る1152パネルである。ここで、1パネルは、図-1に示すように、天端被覆工の打ち継目地から次の打ち継目地までとして定義している。一色海岸の海岸堤防の2パネルを除けば、豊橋地区海岸と田原海岸の海岸堤防は昭和28年の台風13号による高潮災害直後に建設されており、建設年度に若干バラつきがあるが、ほとんどの海岸堤防は築後40～50年経過している。しかし、老朽化が著しく進んだ海岸堤防については、昭和60年代後半～平成10年前後に部分的に改良修築工事が行われている海岸堤防も含まれている。なお、田原海岸の海岸堤防に共通していることは、(1)海岸堤防が汐川干潟に直面して建設されていること、(2)海岸堤防の陸側直背後に水域があること、(3)大地震による液状化により、2.0m程度の地盤沈下の可能性があること及び(4)設計波高が2mであることである。

(2) 調査方法

本調査では、海岸堤防の損傷度合い及び老朽度合いの調査として、1)ひび割れ(幅、長さ、深さ、本数)、2)コンクリート被覆工の圧縮強度、3)堤防天端の不等沈下量の計測を行なった。

a) ひび割れの測定

50m巻尺とmm目盛付きの5mスチール巻尺で、ひび割れ発生位置、大きさ、深さ、ひび割れの数計測すると共に防波堤(パラペット及び天端)の寸法も測定した。なお、参考のために主要なひび割れや周囲の状況などを写真撮影した。

b) コンクリート被覆工の圧縮強度の測定

パラペットの両端、そして天端被覆工の四隅と主要なひび割れの近くのコンクリート被覆工の圧縮強度をシュミットハンマー(富士物産株式会社;NR型)で計測した。

c) 海岸堤防天端の不等沈下量の測定

レベル(SOKKIA;TTL6)と標尺を使って、パラペットと天端被覆工の傾き及び鉛直不陸を測定した。測定地点はシュミットハンマーによるコンクリート圧縮強度の測定地点とほぼ同じ地点である。なお、大きなひび割れがある場合には局所的な傾きを測定するために、状況に応じて測定地点を追加した。

(3) 解析方法

これらの計測結果に基づき、①天端被覆工のひび割れのパターンおよびひび割れ拡大速度、②パラペットおよび裏法面のひび割れ幅と長さ及びひび割れ拡大速度、③天端被覆工のひび割れ発生確率、④被覆工の不等沈下量と⑤コンクリート被覆工の強度変化などを解析した。

ひび割れ拡大速度については、パネル内の最大ひび割れ幅 B_{max} に着目して、式(1)により年間平均

大速度を求めた。ここで、 N は築後年数である。

$$\text{年間平均拡大速度} = B_{max} / N \quad (1)$$

ひび割れが築後何年に発生し、その後どのような経時変化をたどって調査時点のひび割れに至ったのか不明である。このため、本論では、調査時点のひび割れ幅を単純に築後年数で割ったものを年間平均拡大速度と定義しているのに注意していただきたい。また、ひび割れの拡大に伴い天端が部分的に陥没する場合がある。そこで、パネル内の最大鉛直不陸量 Z_{max} に着目して、式(2)により鉛直不陸の年間平均増大速度を求めた。

$$\text{年間平均増大速度} = Z_{max} / N \quad (2)$$

3. 調査結果とその考察

(1) ひび割れ

a) ひび割れのパターンとその発生確率

天端被覆工のひび割れのパターンを調査したところ、図-2に示す7パターンに分類できることが判明した。パターン1は、天端被覆工の目地と裏法の接合部を囲むひび割れである。パターン2は、パラペット部との接合部で斜めに発生するひび割れで

図-2 ひび割れのパターン分類

ある。パターン3は、比較的大きい1本のひび割れが沿岸方向に発生する場合であり、複数のひび割れが発生する場合がパターン4である。なお、パターン3の沿岸方向ひび割れは天端中央部に発生する場合が多い。パターン5は、岸沖方向に1本のひび割れが発生する場合であり、パターン6は、海岸堤防の湾曲部によく発生し、小さいひび割れが複数発生する場合であり、ひび割れ数が20本以上になることも認められた。パターン7は、天端の目地中央部で発生するひび割れである。このパターンについてはひび割れ内側が剥離していることが多かったが発生頻度は極めて小さい。さらに、この基本パターン以外に、図-2に示すように複数の基本パターンが組み合わさったひび割れ発生状況も認められた。

重点的に調査した田原海岸の海岸堤防では、天端被覆工のひび割れ発生パネルは全パネル数1152の内452パネルであり、ひび割れの発生確率は約0.392であった。この値は低いか高いか判断に苦しむが、既述したように、また後述の表-1に示すように、老朽化の著しい天端については部分改良が加えられているので、この要素も0.392の値をもたらした原因の一つである。

次に、ひび割れが発生しているパネルに着目して、ひび割れパターン1～8の発生状況について記載する。実測によれば、ひび割れが発生している452パネルの内、ひび割れパターン1が82パネル、パターン2が66パネル、パターン3が75パネル、パターン4が2パネル、パターン5が79パネル、パターン6が5パネル、パターン7が3パネルと複合パターンが140パネルである。図-3は、ひび割れパネル総数での各ひび割れパターンが発生する確率を示したものであり、 $P_1=18.1\%$ 、 $P_2=14.6\%$ 、 $P_3=16.6\%$ 、 $P_4=0.4\%$ 、 $P_5=17.7\%$ 、 $P_6=1.1\%$ 、 $P_7=0.7\%$ 、 $P_8=31.0\%$ である。ここで、 $P_i (i=1\sim 8)$ はひび割れパターン*i*が発生する確率である。

図-3 パターン別のひび割れ発生確率

これより、次のことが指摘できる。(1)7つの基本パターンのひび割れの発生確率と比べ、複合パターンの発生確率 P_8 がひび割れ全体の約3割を占め、圧倒的に多い。これは海岸堤防の老朽化によって、ひ

び割れが複数の場所で発生し、1つの基本パターンでは収まりきらないためである。(2)7つの基本パターンの発生確率を比べると、 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_5 が高く、 P_4 、 P_6 、 P_7 は低い。パターン4とパターン6は、ひび割れの数が多いパターンなので、発生確率が低かったと推察される。

b) 築後年数とひび割れの発生確率

表-1は、天端被覆工のパネル数 N とそれに対応するパラペット数 N_p と裏法面数 N_L とそれぞれにひび割れが発生するパネル数 N_C 、パラペット数 N_{PC} と裏法面数 N_{LC} を示したものであり、これを図示したのが図-4である。築後0～39年経過した海岸堤防はこの田原海岸では極めて少ないこともあるがひび割れの発生が認められなかった。表-1と図-4より、築後40年以上経過した海岸堤防についてはひび割れの発生確率が高くなり、築後50年以上経過すると、裏法面でひび割れが発生する確率 $P_L (=N_{LC}/N_L)$ が0.705、パラペットでひび割れが発生する確率 $P_P (=N_{PC}/N_p)$ が0.450に達することが判明する。一方、天端被覆工にひび割れが発生する確率 $P_C (=N_C/N)$ は築後50年以上になると若干小さくなっている。

図-4 ひび割れ発生確率と築後年数

表-1 築後年数別パネル総数とひび割れの発生パネル数

築後年数	天端被覆工		パラペット		裏法面	
	N	N _C	N _p	N _{PC}	N _L	N _{LC}
0～9年	0	0	0	0	12	0
10～19年	4	0	0	0	78	0
20～29年	0	0	0	0	56	0
30～39年	0	0	0	0	0	0
40～49年	1024	416	428	67	962	321
50～年	124	36	724	326	44	31

c) 同時ひび割れの発生確率

次に、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 $P_{p,c}$ 、天端被覆工と裏法面に同時にひび割れが発生する確率 $P_{c,l}$ 、パラペットと裏法面に同時にひび割れが発生する確率 $P_{p,l}$ とパラペット、天端被覆工と裏法面に同時にひび割れが発生する確率 $P_{p,c,l}$ は、図-5に示すように、築後40～49年に

図-5 同時ひび割れ発生確率と築後年数

比べて築後 50 年以上では著しく大きくなる。同図より、 P_{p-L} 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、 P_{p-L} と P_{c-L} については築後 50 年経過すると築後 40～49 年までと比べて約 2～5 倍程度大きくなることが認められる。

d) ひび割れ幅の年平均拡大速度

既述したように、調査対象海岸堤防では、築後何年からひび割れが発生し、その後どのような経緯を経て拡大して現在に至ったのか不明である。そのため、ひび割れの大きい、言い換えればひび割れ幅の大きいパネルを恣意的に抽出し、式(1)で定義された最大ひび割れ幅の年間拡大速度 B_{max}/N を図示したのが図-6 である。なお、図中の横軸上で記載されている 9-16-1 のような数字は、パネル番号である。同図に示すように、建設場所と築後年数により B_{max}/N が異なり、ひび割れの発生とその拡大過程の複雑さを物語っているが、調査対象海岸堤防の B_{max}/N の最大値は、築後 48 年経過したパネルの $B_{max}/N = 0.32(\text{cm/y})$ である。一方、パラペット及び裏法面のひび割れ幅の年平均拡大速度については、本論では図示しないが、天端被覆工の $B_{max}/N \leq 0.32(\text{cm/y})$ より小さく、パラペットで $B_{max}/N \leq 0.17(\text{cm/y})$ 、裏法面で $B_{max}/N \leq 0.17(\text{cm/y})$ であることが判明した。

図-6 B_{max}/N と築後年数の関係

(2) 天端被覆工の鉛直不陸と傾き

ひび割れが進むと、天端被覆工が部分的に陥没し、

天端面に鉛直不陸が生じていることが多くの海岸堤防で認められた。この鉛直不陸はひび割れ幅と密接な関係があるので、最大の鉛直不陸に着目して、式(2)で定義された鉛直不陸の年平均増大速度 Z_{max}/N と式(1)で定義された B_{max}/N の関係を、ひび割れパターンと関連づけて示したのが図-7 である。なお、記号の上に付いている数値はひび割れのパターンを示している。同図によれば、 B_{max}/N が大きければ、 Z_{max}/N が大きくなる場合が多いが、そうでない場合もありひび割れ亀裂による天端面の部分陥没の複雑さを示している。ひび割れパターン 3、パターン 4 およびパターン 5 の単独あるいはこれらの複合ひび割れが発生すると Z_{max}/N が大きくなる場合が多いので、堤体内部の空洞が大きくなるとこの 3 つのパターンとその複合パターンが発生しやすいことが推察される。また、同図によれば $Z_{max}/N \leq 0.49(\text{cm/y})$ であり、天端被覆工のひび割れ幅の年平均拡大速度 $B_{max}/N \leq 0.32(\text{cm/y})$ より最大値は 1.5 倍程度大きい。

天端被覆工のひび割れ発生、それにより引き起こされる陥没などにより天端被覆工の傾斜が設計勾配の 2%より緩やかになる。図-8 は天端被覆工の岸沖勾配を示したものであり、負の値は天端被覆工が陸方向に傾斜し、正の値は天端被覆工が海方向に傾斜していることを示す。また、同図には、パネルの左端と右端の傾斜度が示されている。図-8 に示すよ

図-7 B_{max}/N と Z_{max}/N との関係

図-8 天端被覆工の傾斜度と築後年数の関係

うに、築後年数が 47 年以下であれば、天端被覆工は陸方向に大略 1～2%傾斜しており、設計当初の状況がそこそこ維持されていると考えられる。しかし、築後 50 年以上になれば、天端被覆工が海方向に傾斜する場合もあり、堤体土砂の吸い出しなどにより堤防天端が海側に傾いていることが示唆される。

(3) 被覆工のコンクリート強度

パラペットおよび天端被覆工のコンクリート圧縮強度については、シュミットハンマーによる計測強度をコア抜き試験による圧縮強度で補正して使用した⁵⁾。本論では、築後 1 年経過した一色海岸の海岸堤防(11-12-2 パネル)のパラペットの圧縮強度($\sigma_{17}=42.3\text{N/mm}^2$)を基準値として採用して、各海岸堤防の圧縮強度 σ_n との比 $\sigma^*=\sigma_n/\sigma_{17}$ と築後年数の関係を示したのが図-9 である。パラペットについては $\sigma^*\leq 1$ であることが認められ、築後 40 年以上も経過するとパラペットの圧縮強度は低下することがわかる。しかし、最低値 $\sigma^*\approx 0.55$ に対する圧縮強度 σ_n は、 $\sigma_n\approx 23\text{N/mm}^2$ なので、コンクリートの設計基準値の 21N/mm^2 より大きい。一方、天端被覆工については、 $\sigma^*>1$ でコンクリート強度が増えている場合が認められる。しかし、築後 40 年以上も経過すると、天端被覆工の表面には骨材が露出するためコンクリート強度よりも、むしろ骨材の強度を測定している可能性が高いので、コンクリート強度が増大したとは言い難いと考えられる。

図-9 圧縮強度の増減と築後年数の関係

4. 結論

本研究で得られた結論を要約すると以下のようになる。

(1) 天端被覆工のひび割れは、7つの基本パターンとその複合パターンに分類できることが判明した。このうち、基本パターン 1、パターン 3 とパターン 5 のひび割れ発生頻度は高く、それぞれひび割れパネル数の約 17～18%を占める。

(2) 年平均ひび割れ拡大速度については、天端被覆工で最大 $0.32(\text{cm/y})$ である。また、パラペットおよび裏法面では、最大 $0.17(\text{cm/y})$ であることが認められた。

(3) ひび割れの発生に伴い天端被覆工に不陸段差が生じ、その年間増大速度は最大で $0.52(\text{cm/y})$ であり、ひび割れ幅の最大拡大速度 $0.32(\text{cm/y})$ より大きい。

(4) 基本パターン 3、パターン 4 およびパターン 5 のひび割れが発生すると、不陸段差が大きくなる場合が多いので、堤体内部の空洞が大きくなると、基本パターン 3、パターン 4 およびパターン 5 のひび割れが発生し易いと思われる。

(5) 天端被覆工にひび割れが発生する確率は 0.39 程度であり、築後 40 年経過してもひび割れが発生しない確率は高いものと推察された。

(6) 築後年数の経過と共に、設計当初の天端被覆工の岸向き 2%勾配が次第に緩やかになり、相対的に海方向に傾斜するようになる。

(7) パラペットおよび天端被覆工のコンクリート強度は低減するものの標準強度の 21N/mm^2 より大きい場合が多いことが認められた。

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) 横田弘・岩波光保・関根好幸: 海岸保全施設の老朽化実態とその進行モデルの構築, 海岸工学論文集, 土木学会, 第 50 巻, pp. 911-915, 2003.
- 5) 山内祐子・三崎真澄・吉田吉治・田中茂信・岩田好一朗: 築後 50 年経過した海岸堤防の裏法面の老朽化に関する一考察, 平成 17 年度研究発表会講演概要集, 土木学会中部支部, pp. 203-204, 2005.
- 6) 伊藤達哉・中村真理・馬淵孝信・中森洋充・山内祐子・吉田吉治・岩田好一朗: 築後 30 年以上経過した海岸堤防の天端被覆工のひび割れに関する簡易実態調査, 平成 18 年度研究発表会講演概要集, 土木学会中部支部, pp. 203-204, 2006.