

工事完成後に発生した歩車道境界ブロックの破損事例について

村岸 捺世

近畿農政局 農村振興部 地域整備課 (〒602-8054京都市上京区西洞院通下長者町下る丁子風呂町)

国道24号(木津川市山城町)の歩道整備工事において、工事完成後に歩車道境界ブロック(以下「縁石」という)が多数破損して浮き上がる事象が確認された。

縁石は、いずれも縦断方向に強い圧縮力が加わり、水抜き穴の隅角部が破損し、変形して浮き上がりが生じていた。

この事象について材料・施工・外力の影響による可能性を検討し、原因について調査を行い、発生原因について考察したものである。

キーワード 縁石・歩車道境界ブロック

1. はじめに

本工事は、国道24号 木津川市山城町椿井北野～落合地先において歩道整備(工事延長580m:両側歩道)を行う工事である。工期は2020年3月27日～2021年3月26日で、完成検査を3月25日に実施した。

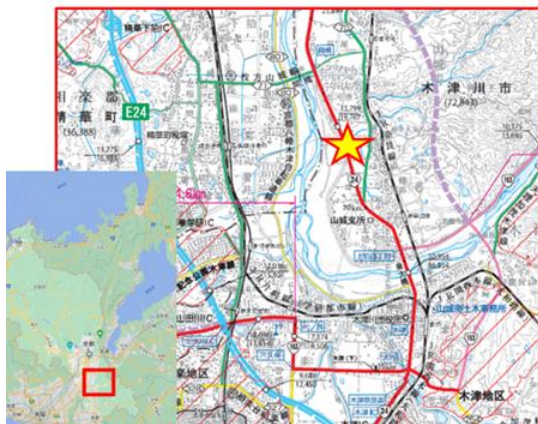


図-1 位置図

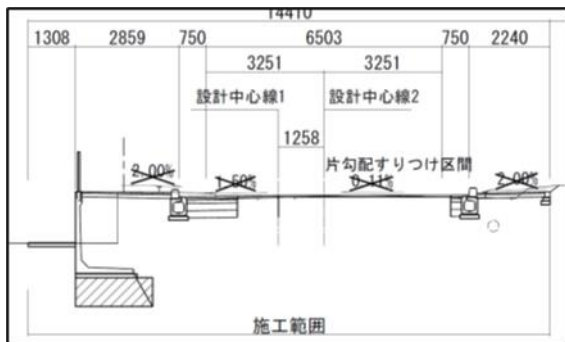
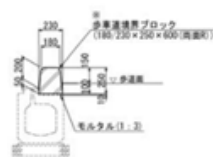


図-2 標準横断面図

縁石工(A)
(一般部)



縁石工(C)
(乗入部据付)

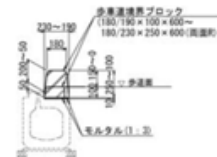


図-3 側溝構造図

検査の2週間後の4月7日、当該工事の担当現場技術員が現場にて縁石(水抜き用)が破損して浮き上がっていることを最初に確認した。



写真-1 縁石(水抜き穴付き)破損状況

破損が確認された縁石は、全て乗入部の斜型ブロック横に配置された水抜き穴付き縁石であった。縦断方向に強い力が加わったためにひび割れ浮き上がっている。

破損した縁石は全て穴あきタイプであるため、応力が

集中しやすい隅角部からひび割れが進行していた。
上記の原因について、施工業者、縁石メーカー、側溝メーカー、設計コンサルタントに見解を求めた結果、

表-1のとおり各者から回答があったが直接的な原因は不明であった。このため工事瑕疵と断定できず、引き続き原因を調査しつつ経過観察を行うこととした。

表-1 関係各者へのヒアリング結果

	回答
施工業者	弊社では、これまで側溝の上に縁石ブロックを設置した事例はなく、敷モルタル厚さ1cmでの据付調整は施工に苦勞した。 割れた原因は温度変化による膨張ぐらいしか思いつかないが、縁石の目地は剥離もクラックも起きておらず、可能性は低いと考える。
縁石メーカー	弊社の製品側溝の上に設置した実績はない。 円形水路の上に設置した事例はあるが、そちらで同様の異変は見られなかった。 通常、水抜き穴の下部はモルタル又はコンクリートで施工（閉合）する（※今回はアスファルトで仕上げている）。
側溝メーカー	側溝の上に水抜き穴付き縁石を施工している事例はあるが、損傷した事はない。 地盤が弱く、本線からの振動で、側溝と縁石の挙動の差が出た可能性がある。
設計 コンサルタント	水抜き穴付き縁石はJ I S製品ではない。 水抜き穴のサイズや用心鉄筋の有無は定められておらず、今回施工された製品は無筋であった。 他の同様の施工事例では、水抜き穴の下部はコンクリートもしくはモルタルで充填されている。 ①車両乗り上げ②大型車交通量が多い③地盤が軟弱であったの三点以外に損傷原因が見当たらない。 気になるのは、縁石と円形水路が敷モルタルで付着されているかどうか。付着が不十分なら縦方向にズレやすい。

さらに6月～2月にかけて経過観察を行った結果、11月までは新たなクラック発生が確認されるなど変状が進行していることが確認されたが、2月の調査では新たな破損

は確認されておらず変状は収束したものと考えている。
割れている箇所と発見日時を以下図-4、表-2に示す。

図-4 縁石ブロック異常箇所図

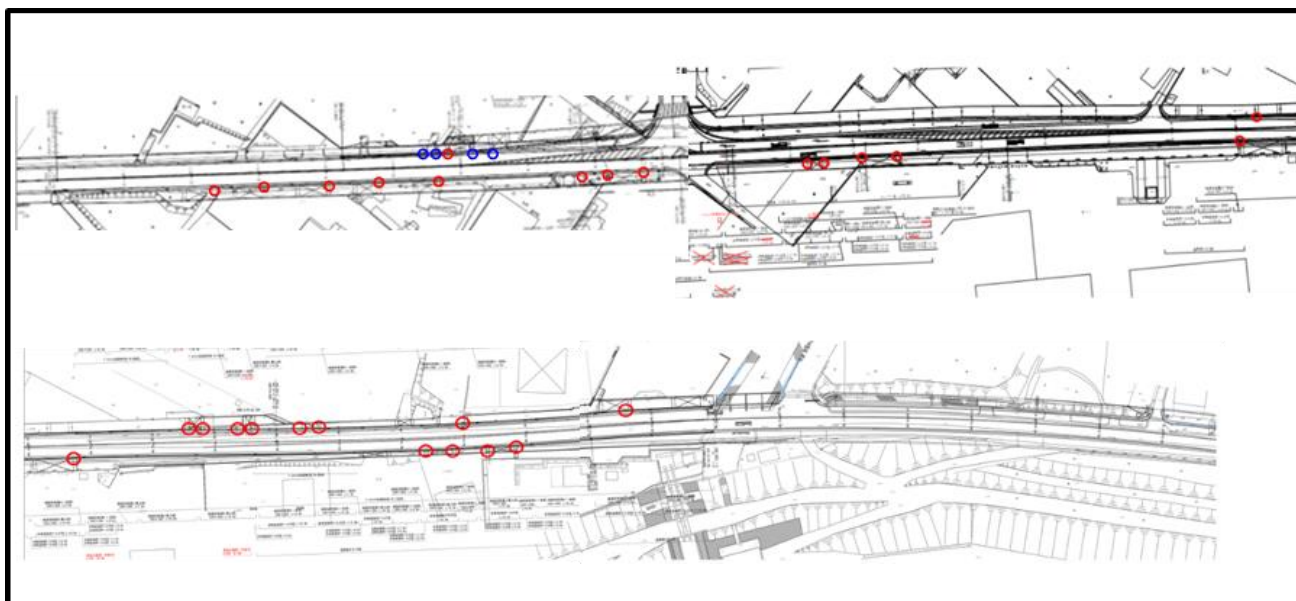


表-2 異常発見日一覧 (箇所)

日付	浮き上がり	クラック
2021. 4. 7	2	
2021. 6. 2	9	18
2021. 7. 28	1	-
2021. 11. 17	-	4
合計	12	22

2. 縁石の破損原因の検討

(1) 乗入部の斜型ブロックをタイヤが踏むことにより破損した可能性

乗入部から車両（特に大型車）が出入りする際、縁石（斜型ブロック）にタイヤが乗り上げ、縦断方向に押す力が加わった結果、縁石のひび割れや浮き上がりが生じた可能性を考えたが、ほとんど車両の出入りが無い乗入部においても破損が生じていたためタイヤによる外力が原因である可能性は低いと考えられる。

(2) エトリンガイトによる膨張の可能性

施工業者・設計コンサルタント等へのヒヤリングでは原因を特定する情報は得られなかったがWebで同様の事例を検索したところエトリンガイトの遅延生成（DEF）によって縁石が破損する事例があった。エトリンガイトとはコンクリート二次製品製造時に蒸気養生の温度が高温だったことが原因で生成される化合物で、二次製品の設置後に水分の供給などで発生し、膨張する性質がある。今回破損により撤去した縁石の断面に白い粉末が析出していたため、近畿技術事務所に成分分析等を依頼した。

エトリンガイトの主な発生条件は、以下の3点である。

- ①高温の蒸気養生
- ②過剰な硫酸塩が含まれている
- ③十分な水分供給がある

①高温の蒸気養生については、コンクリートブロックメーカーからの品質証明書及びヒヤリングの結果、異常な高温の養生は行われていなかったため、これについては割愛する。

本論文では、縁石および目地モルタル中に膨張成分（エトリンガイト）が含まれているか確認するために、各種検討を行った。

(a)試験内容

●粉末X線回折及び走査型電子顕微鏡（SEM）

縁石破断面に確認された白色析出物の鉱物同定を

行うとともに、縁石及び目地モルタルの硬化体中に膨張成分が含まれているかどうかを確認し、また、縁石破断面に確認された白色析出物の結晶形態を観察した。

●EPMAマッピング分析

また、縁石の断面に対して、エトリンガイトの生成領域を推定するため、主成分であるS（硫黄）、Al（アルミニウム）、Ca（カルシウム）の3元素について面分析を行った。

●コア残存膨張量試験

縁石（標準タイプ）からコア試料を採取し、既往文献を参考に試験コアを促進養生し、膨張量の測定を行った。

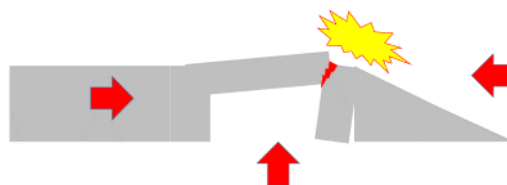


図-5 応力図

(b) 試験結果

●粉末X線回折及び走査型電子顕微鏡（SEM）

粉末X線回折による定性分析を行った結果、白色析出物はカルサイトを主成分とし、水酸化カルシウム及びエトリンガイトのピークは検出されなかった。

カルサイトは炭酸カルシウムの結晶であり膨張しないため破損の原因ではない。

また石英、長石類及び雲母類は骨材に由来するものとみられ、縁石ブロック及び目地モルタルでは石英が最も多く認められた。

水酸化カルシウム及びエトリンガイトはセメントの水和生成物であり、縁石では水酸化カルシウムのピークが、目地モルタルでは水酸化カルシウム及びエトリンガイトのピークが認められた。

これらの成分は、コンクリート用膨張材の反応生成物でもあり、コンクリート等の硬化体を膨張させる成分に該当するといえるが、膨張材を含まないセメント硬化体中にも存在する。従って、当該成分の含有が認められても、硬化体の膨張原因であるかどうかは判別できない。

また、走査型電子顕微鏡での観察についても、白色析出物はカルサイトでありエトリンガイトは発見できなかった。

●EPMAマッピング分析

マッピング像を図-6に示す

硫黄・アルミニウム・カルシウムのマッピング像では、白>赤>橙>黄>緑>青>紫>黒の順に濃度が濃くなる。

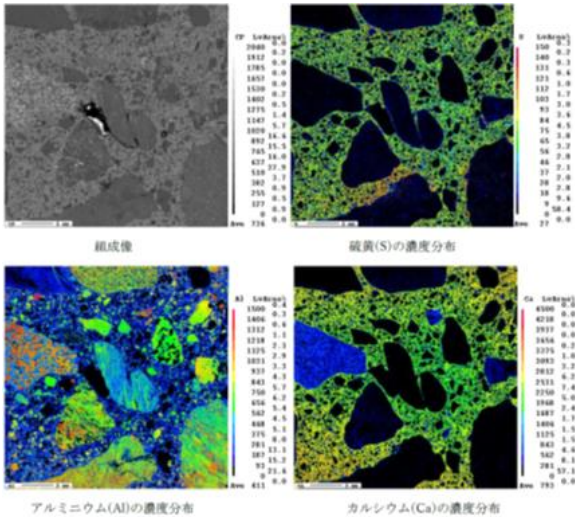


図-6 EPMA マッピング像

ほとんどが青と緑であり、エトリンガイトが生成される環境である特徴は見受けられなかった。

●コア残存膨張量試験

コアの長さの変化測定結果を表-1に示す。養生13週を経過した時点で膨張挙動は認められなかった。

以上の解析結果より、

目地モルタルにはエトリンガイトによる反応があったことが判明した。

しかし、含有が認められたとしても、膨張材を含まないセメントの硬化中にも存在する。従って、当該成分の含有が認められても、硬化体の膨張に影響したかどうかは判別がつかず、確認できた白色析出物は主としてカルサイトであった。

(3) 熱による膨張の可能性

発生前後の気候を、現地から最も近い京田辺市気象庁観測データより確認した。(図-7)



図-7 気象庁観測データ(京田辺市)

しかしながら検査日から最初の異常を確認した日まで(3月25日~4月7日)の平均気温は16°C以下であり、熱による異常膨張は考えにくく、また大きな温度変化があったとしてもコンクリートの膨張で生じるひずみは10°Cの変化で100μに対し、最大圧縮応力がかかる時のひずみが2000μと十分に大きい温度変化による膨張が原因の可能性は低いと考える。

3. 原因についての考察・まとめ

今回、エトリンガイトによる膨張を疑い、縁石および目地モルタルについて各種分析を行ったが、目地モルタルからエトリンガイトが検出されたものの膨張が起きていることは確認できず、原因の解明には至らなかった。

しかし施工業者より自主的に補修を行う申し出があったため以下の対策を行い補修を行った。

- 破損した縁石は全て「水抜き用」であったが、そもそも乗入れに近接した位置に水抜き穴を設ける必要性は低いため、現地の排水勾配等を考え「水抜き用」の使用は必要最小限とした。
- 縁石(水抜き用)設置時に穴の下部分をモルタルで閉合し、縦断方向の圧縮力に抵抗できるようにした。
- 縁石の目地にはモルタルではなく圧縮力を吸収できる発泡樹脂製の目地材を使用した。

今回の破損は縁石(水抜き用)を斜型ブロックの隣に配置したため圧縮力が水抜き穴の弱い部分に集中してしまったことが大きな要因と考えており、今後、同様の縁石施工を行う際の参考にしていただければ幸いです。

参考文献

- 1) 土木学会：高温蒸気養生を行ったコンクリートにおけるDEF膨張に関する検討

- 2) 土木材料調査等業務 国道 24 号山城町北河原縁石ブロック分析試験結果報告書