

УДК 69.002;.72.025;721

к.т.н., доцент Горда О.В.,

anaelg@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7380-0533,

Пузько О.О., mjzgi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0150-1857,

Київський національний університет будівництва і архітектури

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ В ОБЛАСТІ СУМІЖНОСТІ ДЕФЕКТУ ТИПУ "ТРИЩИНА"

Досліджується і здійснюється класифікація об'єктів у зоні суміжності дефектів типу "тріщина" (ДТТ) на базі конструктивних понять суміжних сторонніх об'єктів тріщини. Для ознакоутворюючих елементів тріщини визначена специфіка за рахунок якої можлива побудова області суміжності тріщини і класифікація сторонніх об'єктів в цій області. Досліджено фактор спостережуваності сторонніх суміжних об'єктів, що дає змогу ввести класифікацію асоційовано-ізолюваних перешкод відносно сторонніх об'єктів і визначити їх як різні дефекти ДТТ. Здійснено класифікацію дефектів ДТТ за їх місцем розташування відносно тріщини. З метою дослідження волосяних і тріщин введено і досліджено поняття зони прилягання, в основі якого лежить колір області, що прилягає до тріщини і визначає цю зону.

Ключеві слова: тріщина, дефект, область суміжності, спостережуваність, класифікація, розшарування, асоціювання, примикання, ознака, елемент тріщини.

Актуальність. Широке застосування оптичних методів неруйнівного контролю на основі цифрових зображень потребує досліджень для кожної прикладної області. В практиці моніторингу об'єктів будівництва та будівельних механізмів одним із розповсюджених дефектів є тріщина, а в більш загальному розумінні дефект типу "тріщина" (ДТТ), що включає область суміжності тріщини, а саме область в якій можуть знаходитись об'єкти різної природи та форми, включаючи пошкодження, що спонукають та супроводжують процес тріщиноутворення.

Природа виникнення дефектів типу „тріщина” обумовлена значною кількістю як зовнішніх так і внутрішніх факторів, що породжує їх різноманіття, кожний дефект має свої особливості і вимагає індивідуального підходу. Таким чином нагально актуальним є вирішення задачі класифікації зображень об'єктів в області суміжності ДТТ.

Аналіз літературних даних. Необхідність своєчасного виявлення дефектів об'єктів будівництва обумовлена забезпеченням безпеки їх експлуатації. Складність завдання моніторингу поверхонь споруд часто

пов'язана з доступністю важливих конструкцій і вузлів споруд, що робить методи оптичного контролю на основі обробки цифрових зображень все більш популярними [1].

Окремі аспекти завдання виявлення ДТТ розглядаються в роботах, пов'язаних з дослідженнями механіки тріщинообразовання [2] і поширення їх в суцільних середовищах [3]. Завдання обробки цифрових зображень є частиною теорії розпізнавання образів основні методи і моделі, якій викладені в ряді монографій. В роботі [4] розглядається застосування імовірнісних методів і оцінка ризиків в задачах ідентифікації об'єктів. Монографія [5] присвячена фундаментальним основам теорії розпізнавання, включаючи різні методи і алгоритми. Методи і особливості обробки цифрових зображень досить повно викладені в роботі [6].

Так як тріщина являє собою складний об'єкт дослідження, який може мати різноманітні форми прояву, що робить практично неможливим створення еталона, і його зображення на цифрових знімках може спотворюватися або перекриватися супутніми дефектами для його виявлення та ідентифікації на основі цифрових зображень необхідно розробити комплексний підхід з урахуванням специфіки об'єкта дослідження.

Мета дослідження. З метою побудови класифікації об'єктів у зоні суміжності ДТТ необхідно:

- дослідити суміжні сторонні об'єкти ДТТ;
- в околі точки росту тріщини, околі розгалуження та кореня, описати характерні суміжні об'єкти;
- дослідити асоційованість сторонніх об'єктів;
- розробити критерії класифікації сторонніх об'єктів в області суміжності;
- дослідити волосяні тріщини з метою їх класифікації.

Виклад основного матеріалу.

Нехай задано зображення дефекту типу "тріщина" Ω на дискретній матриці W , а також задано ракурс зйомки, відстань від точки зйомки до об'єкту моніторингу, умови отримання зображення та визначені такі величини як навантаженість пікселя матриці W , орієнтація об'єкту в просторі, чутливість r .

Нехай задана область суміжності $Rg^r(\Omega)$ для ДТТ на зображенні, представленою матрицею W з фіксованим значення r [7]. В загальному випадку в $Rg^r(\Omega)$ окрім Ω можуть знаходитись об'єкти $\{\tilde{\Omega}_i\}$ для яких виконуються наступні умови:

- $N = |\{\tilde{\Omega}_i\}|$
- $\forall i \in N, \tilde{\Omega}_i \not\subset \Omega$;
- $\forall i \in N, \tilde{\Omega}_i \cap \Omega = \emptyset$;
- $\forall i \in N, colOB(\tilde{\Omega}_i) = fon$

- $\exists i^* \in N, \text{col} \tilde{\Omega}_{i^*} = \text{fon}$.

Визначення 1. $\tilde{\Omega}_i$ допускає конструктивне визначення суміжного стороннього об'єкту (ССО) як:

- $\tilde{\Omega}_i \subset Rg^r(\Omega)$;

- $\tilde{\Omega}_i \cap \Omega = \emptyset$;

- $Ob(\tilde{\Omega}_i) \cap \Omega = \emptyset$.

Зауваження 1. ССО в $Rg^r(\Omega)$ ізольований від зображення дефекту типу "тріщина" Ω околom кольору фону зображення Ω .

Зауваження 2. Образ Ω містить зв'язну підмножину, утворену в межах області W , що відповідає образу берегів тріщини і обмежена лініями кромки тріщини, і ці фрагменти є покриттям Ω .

Для ССО в $Rg^r(\Omega)$ описується динаміка трансформації методами згідно [8, 9].

В околі точки росту ДТТ Ω спостерігається область розтріскування (зона деформації або зона пластичної деформації [12]), що характеризується появою сукупності мілких тріщин, які в подальшому замикаються у фрагмент магістральної тріщини спонукаючи її ріст.

В області розгалуження ДТТ Ω , в силу росту її рукавів, спостерігається процес формування розгалуженого русла, сутність якого полягає в тому, що на матеріал об'єкта, розташованого між рукавами, діють різні сили, які є причиною тріщиноутворення і, як наслідок, на поверхні об'єкта спостерігається процес розтріскування і формування берегів у точці розгалуження за рахунок злиття незначних дефектів і руйнувань – формується кромка берегів в точці розгалуження.

В околі точки кореня ДТТ Ω домінуючими є процеси корозії і поверхневого забруднення, що більше пов'язано з факторами зовнішнього середовища, які впливають на об'єкт моніторингу, ніж з факторами тріщиноутворення.

Як видно з цих трьох випадків, існує специфіка визначення і уточнення області суміжності в околі цих трьох елементів ДТТ Ω , яка відображає процеси утворення їх і те, як ці процеси представлені на цифровому зображенні ДТТ Ω .

З метою визначення характерних ознак ССО в $Rg^r(\Omega)$ проведемо дослідження можливості їх спостереження.

Якщо $\exists r^*$ таке, що дозволяє ізолювати $\{\tilde{\Omega}_i\}$ від Ω , то згідно до зауваження 1 це дає можливість виконати виділення $\{\tilde{\Omega}_i\}$ від Ω як ознаку.

Для ССО в $Rg^r(\Omega)$ колірні характеристики (колір, розподіл кольору, градієнти) відрізняються від $\text{col}\Omega$, роздільні на W в каналах основних кольорів – це забезпечує аналіз ізольованості ССО від Ω на основі кольору [13].

Суттєвим є той факт, що деякі ССО за формою гомотетичні фрагменту ДТТ Ω (у формі кромки, берега чи русла), біля якого вони розташовані.

Якщо $\exists r^*$ для зображення ДТТ Ω , що забезпечує можливість спостереження розподілення градієнта кольору за гомотетичним фрагментом до ДТТ Ω , в околі якого розташовані ССО – це забезпечує аналіз зв'язування (асоціативності) ССО з ДТТ Ω .

Таким чином, можливість спостереження ССО в $Rg^r(\Omega)$ забезпечує їх класифікацію в рамках асоційовані-ізолювані-перешкоди у відношенні до ознак ДТТ Ω .

Визначення 2. Під асоційованими ССО з ДТТ в $Rg^r(\Omega)$ будемо визначати ССО для яких спостерігаються ознаки ДТТ Ω (ознаки, що ідентифікують Ω) в області розташування, або ССО гомотетичні фрагменту Ω в $Rg^r(\Omega)$, якому вони відповідають, або розподіл ознак ССО є відтворюваним за рахунок апроксимації розподілів ознак на Ω в області на відстань розташування відповідних ССО від Ω .

Визначення 3. Під ізолюваним ССО відносно ДТТ Ω в $Rg^r(\Omega)$ будемо визначати такі ССО, для яких спостерігаються деякі ознаки ДТТ в області розташування і вони не є апроксимаціями ознак ДТТ Ω в області їх розташування відносно ДТТ Ω .

Визначення 4. Під ССО, які визначаються як перешкоди відносно ДТТ Ω в $Rg^r(\Omega)$ будемо визначати такі ССО для яких не спостерігаються ознаки, які характерні асоційованим ССО або на ізолюваних ССО.

З урахуванням визначеного простору ознак супутніх сторонніх об'єктів на W визначимо ССО як дефекти ДТТ Ω :

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| - корозія; | - каверни; |
| - наліт; | - сколи; |
| - вкраплення іншого матеріалу; | - дірки; |
| - волосяні тріщини; | - подряпини; |
| - пучення; | - вимивання, вивітрювання. |
| - просідання; | |

Специфічними ознаками поняття тріщина являються ознаки, які можна реєструвати, і які виділяють об'єкт дослідження в класі інших об'єктів шляхом фіксації просторових або тимчасових меж, або за допомогою вказування на одиничність об'єкт. Тим самим зміст поняття тріщини частково об'єднує ознаки поняття "одиничний предмет" з ознаками поняття "скінченна множина предметів" [12, 14].

Необхідно особливо відзначити категорійність поняття тріщина, коли мається на увазі наявність властивості відношень між окремими об'єктами (тріщинами), які незалежні від внутрішньої структури цих об'єктів (тріщин).

На підставі проведеного аналізу зображень [10, 11], було виділено ряд випадків примикання суміжних об'єктів до русла тріщини, які представлені на рис. 1.

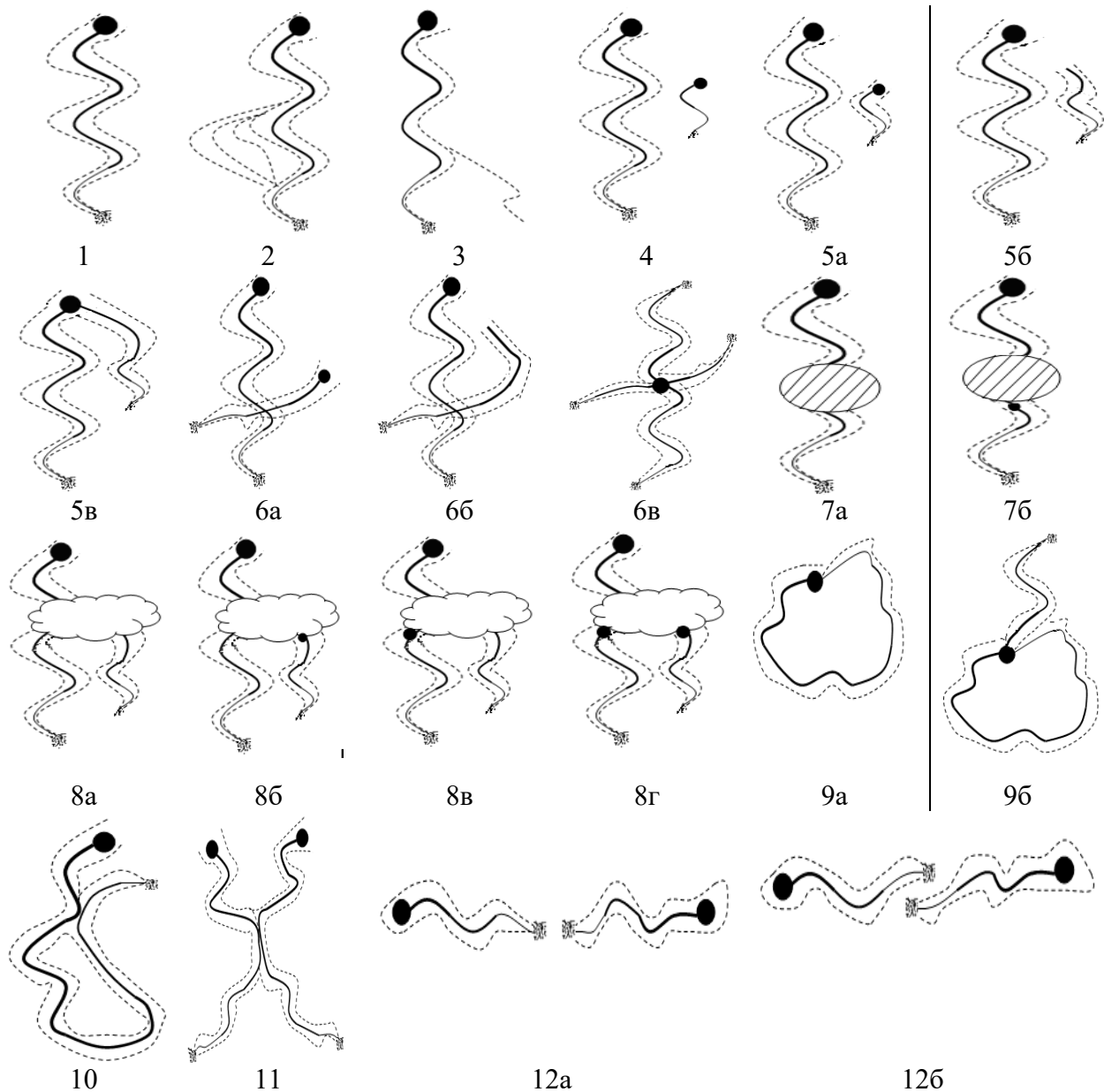




Рис.1 Випадки примикання суміжних об'єктів і русла тріщини

На зображенні представлена магістральна тріщина, яка має: корінь, ланцюги, берега, точку розгалуження, точку росту. Поряд з магістральною тріщиною розташовуються деякі суміжні об'єкти. Ці об'єкти можуть належати як тріщині, так і представляти нову тріщину або навіть цілий ряд тріщин. Якщо суміжні об'єкти відносяться до тріщини, то краї берегів тріщини збільшуються. У випадку, коли цей об'єкт не належить тріщині, то суміжний об'єкт більш помітний і легко ідентифікується.

Варіанти дислокації ССО представлені на рис.1, де використовуються наступні позначення:

- ● – корінь тріщини;
-  – точка росту тріщини;
-  – тріщина;
- --- – кромка тріщини.

Незалежно від спостережуваності $Rg^r(\Omega)$, наприклад, для волосяних тріщин, в їх околі спостерігається так звана зона прилягання, що характеризується на зображенні постійним значенням кольору, розподіленим вздовж тріщини і наявністю постійного ступеня перепаду кольору відносно кольору фону. Зону прилягання будемо позначати як $Rp^h(\Omega)$, де h – величина ступеня перепаду кольору відносно фону.

Зазначимо наступні властивості:

- $h_1 < h_2 \Rightarrow S(Rp^{h_1}(\Omega)) \geq S(Rp^{h_2}(\Omega))$, де S – площа;
- $Rp^h(\Omega) \cap \Omega = \emptyset$;
- $Rp^h(\Omega)$ – багатозв'язна;
- $colRp^h(\Omega) = loc_fon(\Omega) \forall$ зв'язних компонентів Ω без урахування точок їх дотику;
- $colOb(Rp^h(\Omega)) = fon$ без урахування точок дотику компонент зв'язності,

де

- $colRp$ – колір зони прилягання;
- $colOb$ – колір обрису тріщини;
- fon – колір фону;
- loc_fon – локальний колір.

В процесі утворення волосяних тріщин на поверхнях крихких матеріалів (наприклад, штукатурка) один з берегів тріщини просідає вниз (розрив зсувом). На зображенні такої волосяної тріщини буде спостерігатись в напрямку перпендикулярному до тріщини з одного боку нульове значення градієнта яскравості або насиченості кольору, а з другого боку тріщини – відповідно не нульове значення градієнта перепаду кольору (рис. 2 а)).

Така властивість волосяних тріщин є конструктивною і може бути покладена в основу їх ідентифікації.

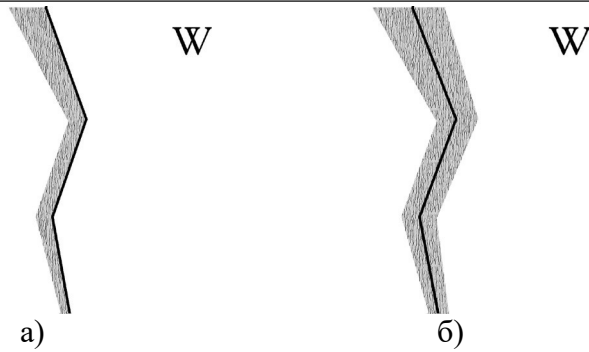


Рис.2 Образ волосяної тріщини: а) з просіданням; б) з випучуванням

У випадку утворення волосяних тріщин на поверхнях об'єкта моніторингу за рахунок випучування або розтягування на зображенні у напрямку перпендикулярному кромці тріщини з обох сторін будуть спостерігатись постійні не нульові значення градієнта зміни кольору, де точка розташування волосяної тріщини – це точка сходження цих градієнтів (рис. 2 б)). Така властивість волосяної тріщини також є конструктивною і може застосовуватись в процесі ідентифікації.

Висновки. В області суміжності тріщини за рахунок використання ознак тріщини – з однієї сторони, переліку та ознаковому представленню перешкод і дефектів в області суміжності тріщини, до яких вони застосовуються, з урахуванням дислокації ССО на зображенні ДТТ Ω або з урахуванням зони примикання $Rp^h(\Omega)$, з метою уточнення побудови $Rg^r(\Omega)$, досліджено підхід до класифікації сторонніх об'єктів ДТТ Ω .

Література

1. Тэплин. Д. Механика разрушения. Разрушение конструкций. - М.: Мир, 1980. - 256 с.
2. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин. - М.: Мир, 1980. - 256 с.
3. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. - М.: Наука, 1984 г., - 256 с.
4. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознаания образов. - М.: Наука, 1974. - 416 с.
5. Фомин Я.А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. - М.: ФАЗИС, 2012. - 429 с.
6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. - М.: Мир, 1982. - 310 с.
7. Горда О.В. Модель області суміжності дефекту типу "тріщина" на цифровому зображенні. / Е.В. Горда, А.А. Пузько // Scientific journal "Science Rise", 2016. - Vol. 4/2 (21)/ - P. 24-27

8. Горда О.В. Моделирование метрик в пространстве цифрового изображения дефекту типу "трещина". // Управление развитием сложных систем. - К: КНУБА, 2014. - Вып. 17. - С. 112-120.

9. Бобенко А.И. Дискретная дифференциальная геометрия. Интегрируемая структура. / А.И. Бобенко, Ю.Б. Сулис. - М.: Издательство: "НИИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований," 2010. - 488 с.

10. Рышков С.С. Дискретная геометрия и геометрия чисел: Сб. статей/ С.С. Рышков, А.А. Мальцев - М.: Наука, 2002. - 335 с.

11. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. - М.: Мир, 1977. - 320 с.

12. Горда О.В. Визначення дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні.// Гірничі. будівельні, дорожні та меліоративні машини. - К.: КНУБА, 2009. -№74. - С. 89-93.

13. Ивенс Р. М. Введение в теорию цвета. - М: Мир, 1964. - 442 с.

14. Попов С.А. Исследование ошибок цветовоспроизведения и построение моделей коррекции цвета цифровых фотографий // Вести. Новг. гос. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки, № 23, 2003. - С. 100-108.

к.т.н., доцент Горда О.В, Пузько О.О.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАСТИ СМЕЖНОСТИ ДЕФЕКТА ТИПА «ТРЕЩИНА»

В практике мониторинга объектов строительства и строительных механизмов одним из распространенных дефектов является трещина, а в более общем смысле дефект типа "трещина" (ДТТ), включающий область смежности трещины, а именно область в которой могут находиться объекты различной природы и формы, включая повреждения, побуждающих и сопровождают процесс трещинообразования. В работе исследуется и осуществляется классификация объектов в зоне смежности дефектов типа "трещина" (ДТТ) на базе конструктивно определенных понятий зоны смежности и смежных посторонних объектов. Для признакообразующих элементов трещины определена специфика за счет которой возможно построение области смежности и классификация инородных объектов в этой области. Исследован фактор наблюдаемости посторонних смежных объектов в различных зонах трещины. Перечислены основные сопутствующие объекты, наблюдаемые на цифровом изображении ДТТ. Выделены и проиллюстрированы основные случаи примыкания смежных объектов к руслу магистральной трещины.

Осуществлена классификация дефектов ДТТ по их месту расположения относительно трещины. Определены особенности представления волосяных трещин на цифровом изображении. В области смежности трещины за счет использования ее признаков – с одной стороны, а также перечня и признаков представления препятствий и дефектов в области смежности, с учетом дислокации и зоны примыкания, с целью уточнения построения, исследованы подход к классификации посторонних объектов ДТТ.

Ключевые слова: трещина, дефект, область смежности, наблюдаемость, классификация, расслоение, сопряжения, примыкания, признак, элемент трещины.

Phd, Ass Prof E.V. Gorda, A.A. Pusko,
Kyiv National University of Construction and Architecture

CLASSIFICATION OF OBJECTS IN THE FIELD OF INTERIORITY OF A DEFECT TYPE “CRACKS”

In the practice of monitoring construction objects and building mechanisms, one of the most common defects is a crack, and more generally, a crack type defect (DTT), which includes the crack adjacency region, namely the region in which objects of various nature and shape can be found, including damage, prompting and accompany the process of cracking. The work studies and implements the classification of objects in the zone of contiguity of defects such as "crack" (DTT) on the basis of constructively defined concepts of the zone of contiguity and adjacent extraneous objects. Specificity has been determined for the attribute-forming elements of a crack, by means of which it is possible to build a region of adjacency and classify foreign objects in this region. The observability factor of extraneous adjacent objects in various zones of the crack is investigated. The main related objects observed in the digital image of DTT are listed. The main cases of adjoining adjacent objects to the main crack channel are highlighted and illustrated. The classification of DTT defects according to their location relative to the crack has been carried out. The features of hair cracks representation on a digital image are determined. In the area of cohesiveness due to the use of its signs, on the one hand, as well as the list and signs of the presentation of obstacles and defects in the area of contiguity, taking into account the dislocation and junction area, the approach to the classification of foreign objects of DTT was investigated to clarify the construction.

Key words: crack, defect, area of contiguity, observability, classification, stratification, conjugation, abutments, feature, fracture element.