永久保存

ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3526号

土 木 研 究 所 資 料

大規模破堤による地形変化の実態

—1993年洪水直後のミシシッピ川水系の飛行機観察から—

平成10年１月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright © (1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3526号1998年1月

大規模破堤による地形変化の実態

—1993年洪水直後のミシシッピ川水系の飛行機観察から—

河川研究室　室　長　藤田　光一

要　旨

堤防破壊に伴って起こる地形変化を知っておくことは，氾濫流の予測や地形変化がもたらす被害の予測に不可欠であり，洪水災害のリスクマネージメントに大いに役立つ。また，この情報は，堤防自身の設計・強化・管理や河道整備の方針策定にも反映させるべきものである。しかし破堤に関しては，これまで極めて限定的なデータしか得られていなかった。本研究は，米国ミシシッピ川水系での1993年大洪水により発生した破堤のうち67カ所を空からの観察と現地踏査により調べ，その形態的特徴を明らかにしたものである。本資料は，1)異なる特徴を示す数多くの破堤を体系的に分析・整理した，2)河道条件と破堤形態との間に密接な関係があることを定量的に明らかにした，3)そこから浮かび上がる技術的課題を整理した，4)調査したすべての破堤事例の形態的特徴をわかりやすくデータファイル化した，という点で有用である。

キーワード：破堤，超過洪水，落堀，洗掘，堆積，氾濫，ミシシッピ川，樹木帯，危機管理，堤防設計，河道計画

Key words：levee break, excess flood, scour pond, deposit, flooding, Mississippi River, forest band, risk management, levee design, channel design

目　次

第１章　はじめに……1
第２章　調査対象河川区間の概要……3
第３章　破堤形態の分類……4
第４章　破堤形態タイプを分ける要因とその影響度……7
４．１　タイプⅠ～Ⅳについて……7
４．２　タイプⅤ～Ⅺについて……7
４．２．１　支配要因の抽出……7
４．２．２　一次考察……8
４．２．３　数量化理論Ⅱ類による分析……9
４．２．４　破堤形態と河道条件との相関……11
第５章　破堤形態のその他の特徴……14
５．１　破堤点切り口の形・開口幅……14
５．２　洗掘領域・砂堆積域の特徴……14
第６章　破堤箇所以外の洗掘・侵食……18
第７章　おわりに……20
謝辞……21
参考文献……21
資料編　破堤データファイル……23

第1章　はじめに

堤防が洪水により破壊されると、大量の水が狭い破堤幅を通って堤内地に流れるため、洗掘、堆積、堤外地（河川）からの土砂輸送が活発に起こり、破堤点を中心に顕著な地形変化が生じる。破堤防止の重要性は言うまでもないが、万一破堤した時の地形変化を知っておくことは、今後重要性が増すと考えられる洪水災害のリスク・マネージメントに不可欠であり、氾濫流の予測や地形変化がもたらす直接的被害の想定に役立つことはもちろん、堤防自身の設計・強化・管理の方針策定にも重要な情報となる。

破堤形態については、破堤事例から破堤開口巾、落堀形状、堆積・洗掘などを分析した研究がいくつか行われている[1)2)3)]。しかし、そもそも破堤という事例が少ない上に調査のタイミングが難しいため、数少ない破堤事例を個別に調査・分析するにとどまることが一般的で、複数の破堤形態を系統的に分析し河道条件などとの関連性まで調べた例は、破堤開口巾の場合[3)]を除きあまり聞かない。一方、地形、水理および堤体・地盤材料について単純な条件を設定し、縮小模型実験あるいは計算により破堤形態を調べた研究[4)5)6)]が行われ、これらは破堤形態の基本特性の把握に役立っている。しかし、この成果を実際問題に応用していくには、破堤実態についてさらに多くの情報を必要とするところであろう。

米国のミシシッピー川水系では、1993年に大規模な洪水が発生し、ミシシッピー川上流とミズーリ川中下流部の1000カ所以上で破堤氾濫が起こり、大規模な洪水災害が発生した。これらの破堤の主原因は、洪水規模が疎通能力を相当上回ったことによる越流と推定されている。なお、この洪水の全般については文献[7)8)]に詳しい。著者は、この洪水のピーク時期（7～8月）からおよそ3カ月経った同年11月18～20日にかけて、小型飛行機により破堤発生区間を観察する機会を得た。また、翌年6月20日～22日には、両川の代表的な破堤地点の踏査を行った。本研究では、67カ所の破堤についての調査結果に基づき、以下のことを行った。

① 異なる特徴を示す数多くの破堤を、形態という観点から体系的に整理・分類した。
② 破堤形態とその場所の河道条件との間に密接な関係があることを明らかにした。
③ 以上から浮かび上がる技術的課題を整理した。
④ 調査したすべての破堤事例の形態的特徴をわかりやすくデータファイル化した。

ここで取り上げる破堤事例は、洪水規模が堤防強度に比較して大きく、また、洪水継続時間が2カ月にも及ぶという点で、日本で起こりうる破堤とは箇所数の面でも一カ所の破堤現象の規模という面でも相当の違いがあると考えられる。したがって、本事例を短絡的に日本の堤防に当てはめることは避けなければならない。しかし一方で、これらの事例には、“超過洪水”を受けた堤防の多様な応答が、強調された形でわかりやすく現れている。また、調査対象河川区間の地形特性が次章あるいは資料編に示すように日本に比べずっと単純であり、また、河道も長い区間にわたって変化が少なく同じような特性を示す。そのような河川沿いに多数の破堤が起こっていることから、破堤形態を支配する要因の数を絞りやすく各要因の影響度を分析しやすいという特長を本データは持っている。以上から本研究は、この破堤事例データの有用性を最大限生かして分析を行うものの、その結果の日本の堤防施策へ反映については、本事例と日本の堤防との基本条件の差異に充分留意するという立場をとる。

上記①～③は本編に、上記④は資料編に配した。

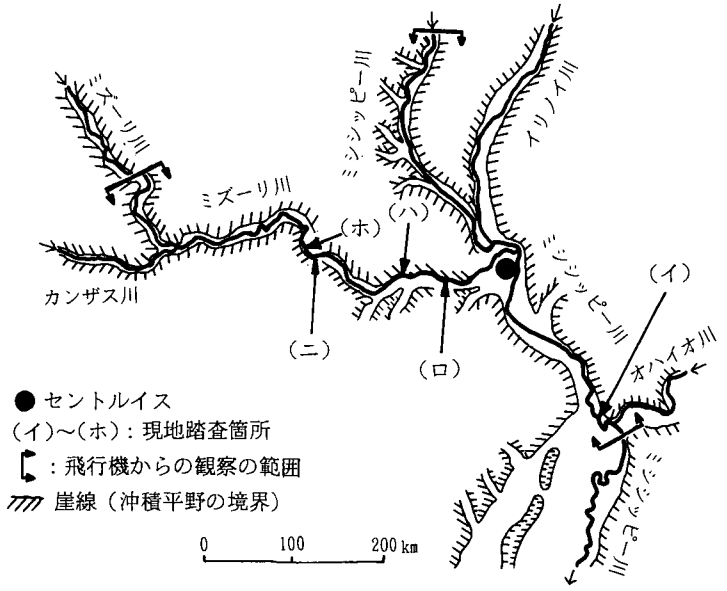
第２章　調査対象河川区間の概要

図－１に、ミシシッピー川上流部とミズーリ川中下流部の平面図を示す。図中には、空から飛行機で観察した範囲、現地踏査を行った５地点（イ）～(ホ）が示されている。表－１に調査範囲の河道の概略の特性を示す。この区間の河道は、丘陵地端部の崖線(bluff)に挟まれた比較的狭い沖積平野を流下するという形態を取り、ミズーリ川は沖積平野幅一杯に蛇行し、一方、ミシシッピー川の蛇行度は小さい。今回の洪水による氾濫水も、崖線の間の帯状の領域に限られる。ただし、ミシシッピー川は、調査範囲の下流端に近い現地踏査地点(イ)付近(図－１)で広大な沖積平野に突入し、これより下流では河道の横移動に対する崖などの制約はほとんど無くなる。堤防は山付き部を除いてほぼ連続堤である。堤防法線は概ね低水路に沿って造られているが、日本のそれと比べるとはるかに不規則である。調査範囲の堤防は、いわゆるFederal levee（陸軍工兵隊が築造した堤防か、その構造について工兵隊の技術基準に則り工兵隊が承認した堤防）は少なく、大部分が通称Local levee（各地先の土地所有者や自治体、農業組合等が独自に築いた堤防）と呼ばれるもので、後者は必ずしも所定の外力に耐えるよう十分吟味されて造られたものではないという。現地踏査箇所の堤防は、堤内地盤高からの高さ３～４ｍ程度、表・裏法勾配２割５分～３割程度、天端幅３ｍ程度の諸元を持っていた。堤防表面は胸高程度の雑草で被われ、十分な植生管理はなされていないようであった。調査対象河川区間では、文字通り“いたるところで”破堤が生じていた。

表-1　調査区間の概要

	堤防間幅 [m]	低水路幅 [m]	崖線間幅 [m]	河床勾配 (逆数)	河床材料	蛇行度
ミシシッピ川	1500	700	6500	8000	砂	小
ミズーリ川	800	450	3500	5500	砂	大

＊)ミシシッピ川はオハイオ川・ミズーリ川合流点間の平均、ミズーリ川は下流端から980Km上流までの平均的特性。両区間内とも、河道特性の大きな縦断変化は無い。



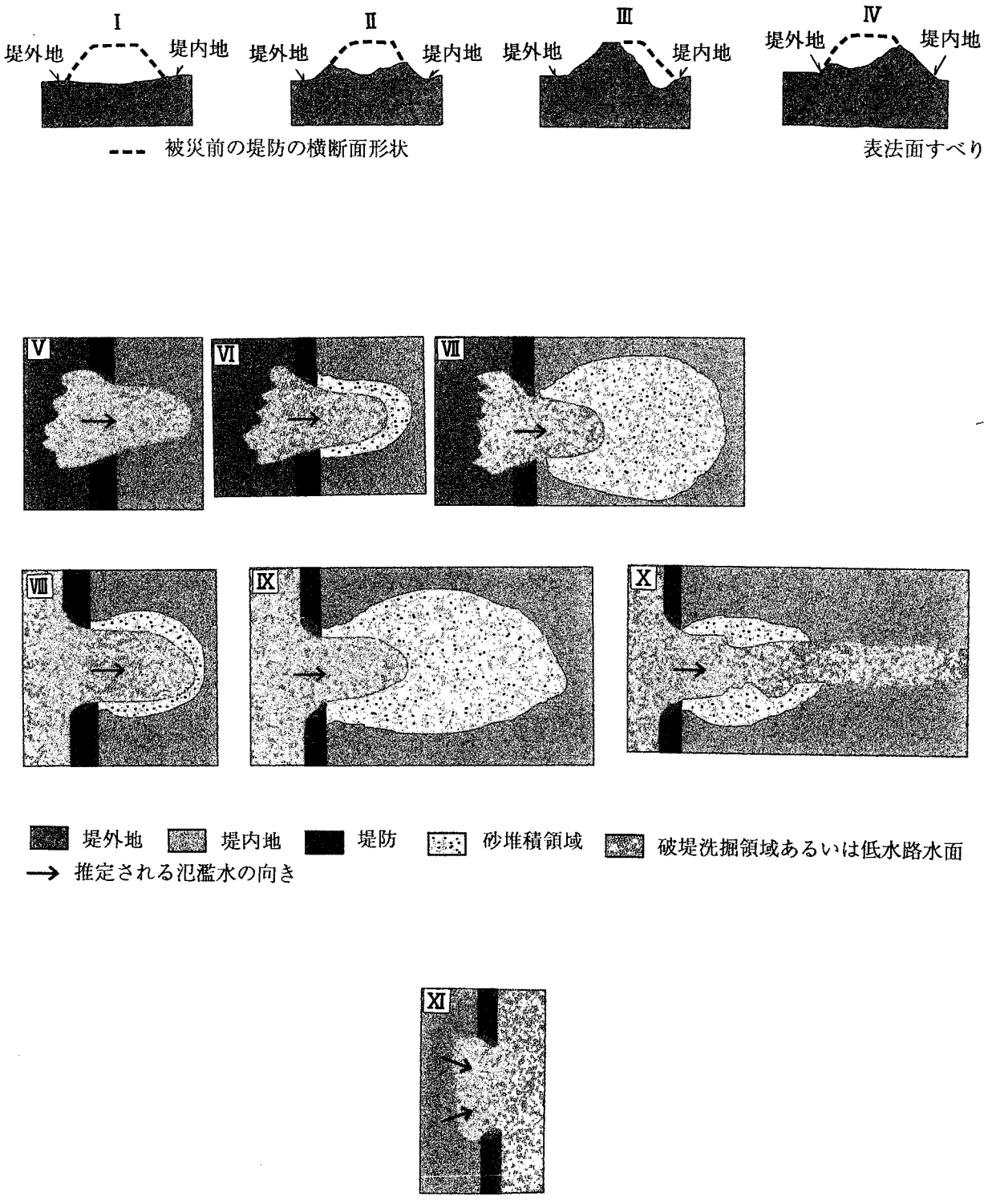
図－１　調査対象河川区間

第３章　破堤形態の分類

今回の調査で観察した57カ所の破堤は、横断・平面形状や洗掘・堆積などの状況から、図－２に示す11種類に分類することができる。このうち、タイプⅠ～Ⅳは、堤体の一部が残ったか、堤体は全て失われていても基盤がそのまま残っているもので、すぐ後に述べる洗掘領域（いわゆる落堀）を伴わない。このため、図－２では残存堤防の横断形状で表されている。残りのタイプⅤ～Ⅺは、洗掘領域(堤体がすべて流失した上に基盤が洗掘を受けた領域；落堀)を持つもので、図－２では平面図で表されている。タイプⅠ～Ⅺの代表例を写真－１に示す。以下に、これらの図、写真と合わせて各タイプの特徴を述べる。

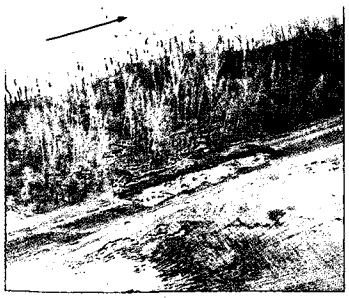
タイプⅠは、堤体部だけが全てが流失するという形態であり、タイプⅡは、堤体の上部だけが流失するという形態である。タイプⅢは、裏法、裏法尻近くの地盤、裏法寄りの天端が侵食される形態であり、タイプⅣでは、天端と表法が川側に滑るような堤体変状が生じる。

次のタイプⅤ～Ⅺは、洗掘領域(写真－１では水面となっている部分）と洗掘領域の下流側（氾濫流向から見て）に拡がる砂堆積領域(写真－１で白っぽい黄色に見える部分）の特徴の違いによって分類される。すなわち、1)洗掘領域が低水路水面と接続しているか、接続せず孤立しているか、2)砂堆積領域が無いか、あっても洗掘領域の面積と同等またはそれより小さいか、洗掘領域をはるかに上回る砂堆積領域を持つか、の組み合わせである。まず、タイプⅤ、Ⅵ、Ⅶは、いずれも孤立した洗掘領域を持ち、順に、砂堆積領域が無い、あるが洗掘領域と同等またはそれより小さい、洗掘領域よりもはるかに大きい砂堆積領域を持つ、という特徴をそれぞれ有する。タイプⅧ、Ⅸは、いずれも低水路水面とつながった洗掘領域を持ち、Ⅷは砂堆積領域が小さく、Ⅸは大きい。タイプⅩは、大きな砂堆積域を持つとともに、低水路からつながる洗掘領域が堤内地のはるか奥まで伸びているというものである。タイプⅪは、低水路とつながった洗掘領域があるが、その規模が小さく、堤防法線方向に長い形を持ち（タイプⅤ～Ⅹまでの洗掘領域は堤防法線と直角方向、すなわち氾濫流の方向に長い)、砂堆積領域を全く持たないという特徴を持つ。

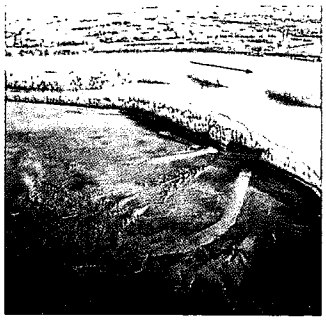

I
堤外地
堤内地
II
堤外地
堤内地
III
堤外地
堤内地
IV
堤外地
堤内地
被災前の堤防の横断面形状
表法面すべり
V
VI
VII
VIII
IX
X
堤外地
堤内地
堤防
砂堆積領域
破堤洗掘領域あるいは低水路水面
推定される氾濫水の向き
XI

図－２　破堤形態の分類

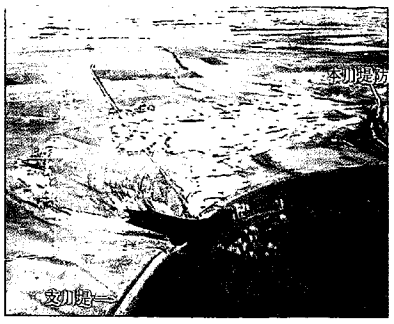
a）タイプⅡの例



b）タイプⅤの例



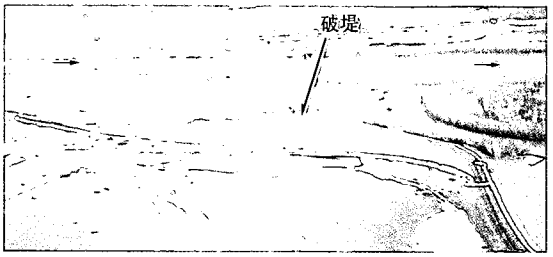
c）タイプⅥの例



d）タイプⅦの例



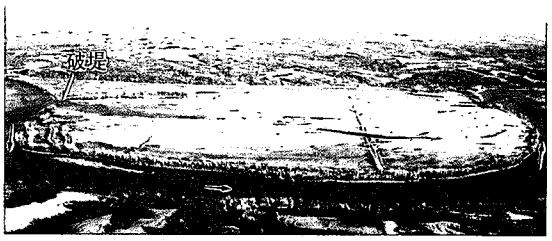
e）タイプⅧの例



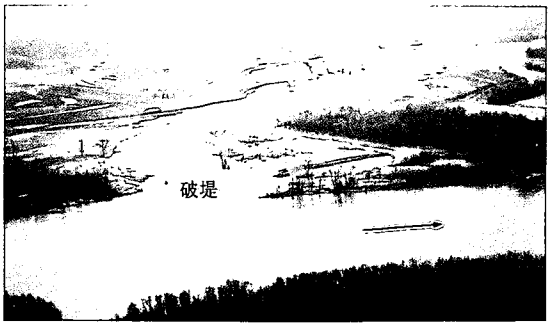
f）タイプⅨ(1)の例



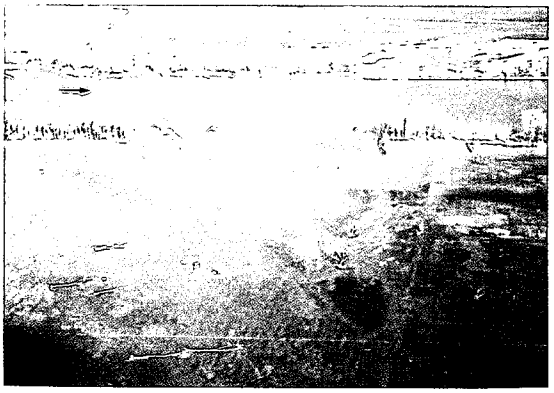
g）タイプⅨ(2)の例



h）タイプⅩの例



i）タイプⅨの例



凡例 ——► 河川の流向

☆破堤の空間スケールは低水
路幅との対比で推察できる

撮影地点
a）MO/Spirit of St. Louis空港近く、
b）MI/MOとの合流点近く、
c）MO/Baltimore Island近く、
d）MO/Saint Joseph近く、
e）MI/Menfro近く、f）MO/Berger近く、
g）MO/Lisbon近く、h）MO/Catfish Island近く、
i）MO/Miami近く。
ここで、MO：ミズーリ川、MI：ミシシッピー川

写真－1　破堤形態各タイプの代表例

第４章　破堤形態タイプを分ける要因とその影響度

４．１　タイプⅠ～Ⅳについて

タイプⅢは、日本においてもしばしば見られるもので[9]、越水による堤防破壊が途中で止まった典型例であろう。一方、その他のタイプは日本ではあまり見られないものである。このうち、タイプⅠとⅡでは、越水に最も弱い法尻部[9]が洗掘を受けていないことから、越水が本格的に生じた時には堤内側の水位が相当高く、その結果、天端付近が相対的に侵食力の一番大きな場所になっていたと推定される。通常この状態で天端付近に作用する侵食力はさほど大きくないが、越流継続時間の長期化や堤体土質の侵食に対する脆弱性がタイプⅠ、Ⅱを引起こした可能性を指摘できる。

タイプⅣは、土質力学的不安定による法滑りが原因と推定される。今回の調査でこのタイプが２カ所確認されたが、いずれも水裏部に位置し洪水時に河床洗掘が進むような場所ではなかった。このことから、このタイプを起こす可能性のある要因として、高水位の長期化による土質強度の低下とともに、周辺での破堤による水位急降下を考えるべきであろう（実際、上記の２カ所ともすぐ近くで破堤が生じている)。

４．２　タイプⅤ～Ⅺについて

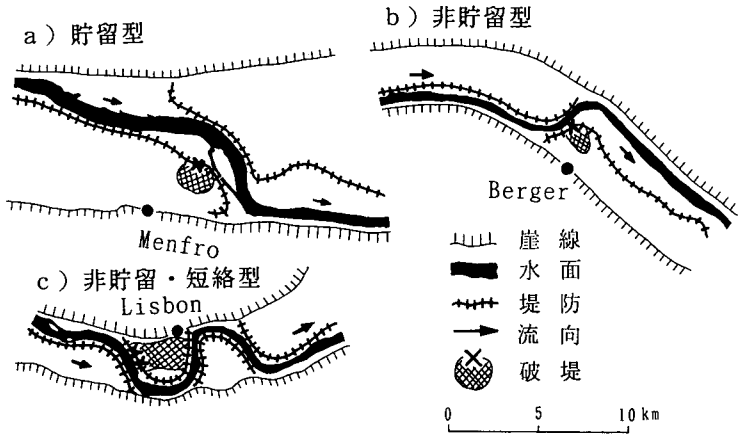
４．２．１　支配要因の抽出

これらのタイプを分けた要因になりうるものとしてA～Hの８条件(表－２参照)を上げ、各タイプに分類された破堤箇所の内いくつがそれぞれの条件に該当するかを表－２に示した。８条件のうちＢは、写真－１a)b)e)に示すように、堤防の前面に密生樹木群帯がある程度の幅で存在する場合を指す。ただし、今回のすべての事例で樹木群帯は堤外側（川側）にあった。同じ堤防沿いであっても堤外側にある樹木群帯と堤内側にある樹木群帯とでは種々の作用が異なるため、以下の分析で条件Bに関するものは堤外側樹木群帯についてであることに注意する必要がある。条件Ｅの「貯留型」は、図－３a)に示すように、破堤口から氾濫した水が堤内地に貯留される傾向にあり、時間と共に氾濫の勢いが減少する型を示し[3]、条件Ｆの「非貯留型」は、図－３b)に示すように、堤内地に氾濫した水が貯留されずに流下する傾向を持ち、氾濫水の流勢の逓減が起こりにくい型を指す。なお本調査では、直線河道での破堤はＥに、湾曲外岸側での破堤はＦに分類した。条件Ｇは、図－３c)に示すように、非貯留型である上に、破堤口から出た氾濫水が蛇行している河道を短絡するように流下するという型である。条件Ｈは、堤内地から河道への氾濫水の戻り流

表-２　破堤形態タイプと諸条件との関係

破堤形態タイプ	事例数	各条件（A-H）への該当数							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Ⅴ	6	6	4	0	1	2	0	0	4
Ⅵ	7	6	3	1	0	4	2	1	0
Ⅶ	9	7	2	0	1	7	0	0	2
Ⅷ	6	2	3	1	0	4	2	0	0
Ⅸ(1)	12	4	2	1	0	2	9	1	0
Ⅸ(2)	12	6	5	0	0	0	4	8	0
Ⅹ	3	1	0	0	0	0	2	1	0
Ⅺ	2	0	0	0	0	0	0	0	2

Ⅸ(1)：砂堆積領域の規模が普通。
Ⅸ(2)：砂堆積領域の規模が非常に大きい。
＜各条件の説明＞　A：堤防沿いに堤防敷幅の５倍以上の高水敷あり。B：堤防沿いに堤防敷き幅以上の樹木帯あり。C：支川堤防。D：堤内地の２線堤的盛土。E：貯留型氾濫。F：非貯留型氾濫。G：非貯留・短絡型の氾濫。H：河川への戻り流れ、あるいは堤内地流による破堤。
★今回調査対象となったBの事例はすべて堤外地側（川側）に樹木群



図－3　貯留型・非貯留型・短絡型の説明

a）b）c）は、それぞれ写真－1e）f）g）と同じ場所

れによる破堤口あるいは堤内地における流れによる地形変化であることを意味する。

4．2．2　一次考察

(1)タイプⅤⅥⅦとⅧⅨを分ける要因について

これは、洗掘領域と低水路がつながるかどうかの別に関するものである。条件ＦまたはＧに適合する割合は、前者(ⅤⅥⅦ)が3／22であるのに対し、後者(ⅧⅨ)は24／30もある。このことから、非貯留・短絡型の破堤氾濫が洗掘領域と低水路の接続を起こしやすくすると見ることができる。条件Ａ、Ｂそれぞれに適合する割合は、前者のタイプでは19／22,9／22あるのに対し、後者では12／30,10／30と少なくなる。このことは、堤防前面の高水敷と樹木群帯の存在が接続を妨げる効果を持つ場合があることを示唆している。

(2)タイプⅤとⅥⅧとⅧⅨを分ける要因について

これは、砂堆積領域の規模の違いに関するものである。まず、砂堆積領域が全くないⅤについては、６つのうち４つが条件Ｈ、すなわち戻り流れあるいは堤内地流による破堤であり、１つがＤ、すなわち堤内地の２線堤的盛土の破堤である。これらは、河道から氾濫原への砂の供給が起こり得ない条件である。残り２つは貯留型氾濫で、かつ堤防前面に厚い樹木群帯がある条件を持っていた。これは、砂堆積を抑制する要因になりうる。

ⅥⅧとⅧⅨの違い、すなわち砂堆積領域の規模の差をもたらす条件については次のことが言える。砂堆積領域が洗掘領域と同等かそれより小さい前者(タイプⅥⅧ)では、条件ＢＣＤに適合する割合が８／13であるのに対し、後者(タイプⅧⅨ)では、11／33と減少する。一方、条件ＦＧに適合する割合は、前者が５／13しかないのに対し、後者では22／33に達する。これらから、条件ＢＣＤが砂堆積の規模を抑制する要因、条件ＦＧがその規模を増大させる要因と考えることができる。なお、タイプⅦには、非常に大きな砂堆積領域を持つ事例がほとんどなかったことから、Ⅸ(2)を生じさせた要因の１つとして、洗掘領域と低水路がつながったこともあげるべきであろう。

(3)タイプＸ、タイプⅪを発生させる要因について

タイプⅪの形成は、低水路河岸が堤防に近接した(高水敷がほとんどない)区間で堤内地からの氾濫流の戻り流れが比較的活発に生じたことが原因と考えられる。タイプＸは、３事例中すべてが条件ＦＧを満たすことから、非貯留型の氾濫が重要な要因になっていると推定できる。また、現地の状況を

見ると、堤内地に伸びた洗掘領域が旧河道などの何らかの弱点箇所であった可能性を指摘できる。

4．2．3　数量化理論Ⅱ類による分析

(1)数量化理論Ⅱ類の適用

以上から、表－2の条件A～Hが、破堤形態タイプを分ける要因として有意である可能性が高いことが示された。しかし、このままでは客観的な分析という面では十分でない。そこで、数量化理論Ⅱ類を用いて、破堤形態タイプと要因A～Hとの関係を量的に表示することを試みる。表－3には、今回調査対象としたすべての破堤事例の破堤形態タイプと条件A～Hへの該当・非該当が示されている(ただし、表－2のHは表－3では「HまたはI」に相当する)。この表に基づき数量化理論Ⅱ類を適用する。

表－3の最下欄の2行を見ればわかるように、各破堤事例は四つのアイテムを持ち、それぞれが2～4個のカテゴリーを持つ。各破堤事例は、1つのアイテムに着目したとき、そのアイテムに属するカテゴリーのうち必ず1つのカテゴリーに該当し、その他のカテゴリーには非該当となる。すなわち、1つの破堤事例は、各アイテムについて必ず1個の該当カテゴリーを持つことになる。ここで、すべてのカテゴリーについて点数をつける。これをカテゴリー・スコアと呼ぶ。1つの破堤事例について該当するすべてのカテゴリーのスコアを総和したものを、当該破堤事例についてのサンプル・スコアと呼ぶ。数量化理論Ⅱ類では、各破堤事例が持つこのサンプル・スコアが、破堤形態タイプが異なれば大きく異なるようにカテゴリー・スコアの点数付けを行う。こうして付けられたカテゴリー・スコアを比較することにより、どのアイテムのどのカテゴリーが破堤形態タイプを分けるのにどのように効いているかを、相対的ではあるが定量的に比較することができる。なお数量化理論では、本分析での破堤形態タイプのように最終的に判別したい分類項目のことを外的基準と呼ぶ。

以上の説明を数式で表すと次の通りである。

$$Y_{i\alpha} = \sum_{j=1}^{R} \sum_{k=1}^{C_j} a_{jk} \cdot \delta_{i\alpha}(jk) \qquad \cdots\cdots(1)$$

ここで、$Y_{i\alpha}$：i番目の外的基準（ここでは破堤形態タイプ）に属するα番目のサンプル（ここでは破堤事例）のサンプル・スコア、a_{jk}：j番目のアイテムに属するk番目のカテゴリーのカテゴリー・スコア、$\delta_{i\alpha}(jk)$：i番目の外的基準に属するα番目のサンプルについてのもので、アイテムj－カテゴリーkに該当する場合は1、非該当の場合は0となる関数。R、C_jは、それぞれアイテムとj番目のアイテムに属するカテゴリーの総数である。上述のように、分析対象とするすべての破堤事例についてサンプル・スコアYを計算したとき、その分布が破堤形態タイプ毎に大きく分離されるようにa_{jk}の値を決める。このための計算プログラムは文献10)によった。

本節で対象にしている破堤形態タイプはⅤ～Ⅺの8個（表－2，3参照）もあり、数量化理論Ⅱ類の適用には多すぎるので、4.2.2の内容を踏まえ、特に重要と考えられる破堤形態の特徴（判別対象）に着目して、破堤形態タイプをグループ化した。その内容を表－4に示す。

表－3　各破堤事例の属性表

		該当する項目は灰色＋1、非該当は白									
破堤形態タイプ	データNo	A	非A	B	非B	本川堤防非C，非D	Cか D	E	F	G	堤内地流Iか戻り流れH
V	1	1			1		1				1
	2	1		1		1		1			
	3	1			1	1					1
	4	1		1		1					1
	5	1		1		1		1			
	6	1		1		1					1
VI	1	1		1		1				1	
	2	1			1	1		1			
	3	1			1	1		1			
	4	1		1		1		1			
	5		1		1	1		1			
	6	1			1		1		1		
	7	1		1		1			1		
VII	1	1			1	1		1			
	2	1			1	1					1
	3	1			1	1		1			
	4	1		1		1		1			
	5	1			1	1		1			
	6		1		1	1		1			
	7	1			1		1				1
	8	1		1		1		1			
	9		1		1	1		1			
VIII	1		1		1	1		1			
	2		1		1		1	1			
	3		1	1		1		1			
	4		1		1	1			1		
	5	1		1		1		1			
	6	1		1		1			1		
IX(1)	1	1		1		1			1		
	2		1		1	1			1		
	3		1		1	1		1			
	4		1		1	1			1		
	5	1			1	1				1	
	6	1		1		1			1		
	7		1		1	1			1		
	8		1		1	1			1		
	9		1		1	1			1		
	10		1		1	1			1		
	11		1		1		1	1			
	12	1			1	1			1		
IX(2)	1		1		1	1			1		
	2	1			1	1				1	
	3		1		1	1			1		
	4		1		1	1				1	
	5	1		1		1				1	
	6		1		1	1				1	
	7	1		1		1			1		
	8	1		1		1				1	
	9	1		1		1				1	
	10		1		1	1			1		
	11	1		1		1				1	
	12		1		1	1				1	
X	1		1		1	1				1	
	2		1		1	1			1		
	3	1			1	1			1		
XI	1		1		1	1					1
	2		1		1	1					1
カテゴリー		1	2	1	2	1	2	1	2	3	4
アイテム		＜1＞		＜2＞		＜3＞		＜4＞			

表-4　判別対象と破堤形態タイプのグループ化

外的基準設定法	判別対象	外的基準
その1	砂堆積域の規模に対する各要因の支配度	砂堆積域なし(ⅤとⅪ)、砂堆積域小(ⅥとⅧ)、砂堆積域大(ⅦとⅨ)
その2	洗掘領域と低水路の連結の有無に対する各要因の支配度	連結無し(ⅤⅥⅦ)、連結あり(ⅧⅨ)

表中のローマ数字は破堤形態タイプ

また、表－3中のアイテム3は、カテゴリー1に該当する事例が圧倒的に多く分析に適さないので除外した。表－4の設定その2においては、アイテム4－カテゴリー4に該当する破堤事例も除外した。これは、該当する事例が低水路連結の有無を支配する要因の検討に適さないからである。

(2)分析結果

図－4、－5に、外的基準設定法その1、その2それぞれについて、各カテゴリーのスコアと、外的基準別のサンプル・スコア頻度分布を示す。これらの図から次のことがわかる。図－4b)と図－5b)は、サンプル・スコアが大きくなるほど大きな砂堆積域が生じる可能性が高くなるように、同じくサンプル・スコアが大きくなるほど洗掘領域(落堀)・低水路水面が連結する可能性が高くなるように両図a)のカテゴリ・スコアが定められたことを示している。

図－4a)から、砂堆積域の大小を支配するのは、まず、破堤箇所の平面形状(表－2の条件E～H)にかかわるものであり、条件H(破堤が氾濫水の河川への戻り流れや堤内地での流れで生じる)は、砂堆積規模を小さくする圧倒的に大きな要因となること、非貯留型や短絡型は、砂堆積規模を大きくする要因であることがわかる。次に重要な要因は条件B（堤防沿いの樹木群帯の有無）であり、樹木群帯の存在は砂堆積規模を小さくする要因となる。この要因の影響度は、蛇行短絡型あるいは非貯留型が持つ砂堆積規模を大きくする方向の影響度を相殺する程度の強さを持つ。図－5a)からは、非貯留あるいは短絡型の平面形状が洗掘域と低水路水面との連結の可能性を高め、貯留型の平面形状と高水敷の存在がその可能性を低めることがわかる。また、平面形状の違いや高水敷有無の影響度は同程度であるのに対し、樹木群帯の有無の影響度はこれらの影響度に比べ小さいと言える。

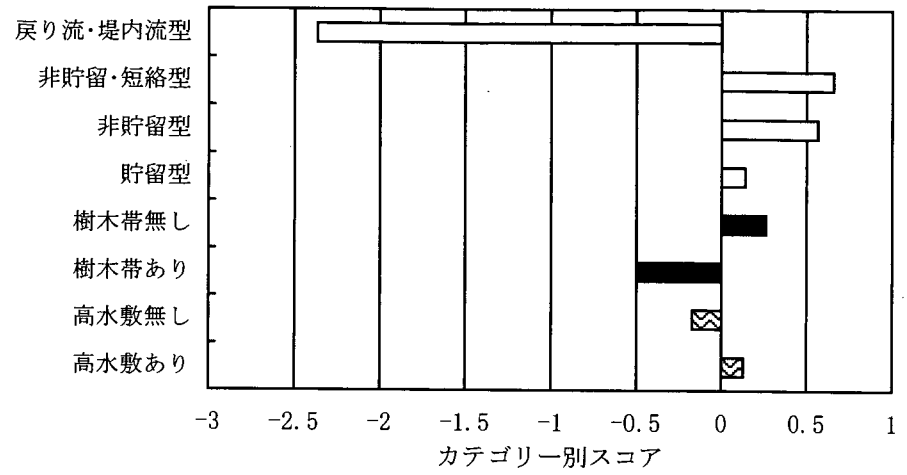
4．2．4　破堤形態と河道条件との相関

多数の破堤事例から統計的に推定するという以上の検討手法によれば、河道の条件と破堤形態との間に有意な相関があると言える。すなわち、破堤の規模や破堤災害の深刻度を反映すると考えられる1)砂堆積域の規模の大小、2)低水路と破堤洗掘領域の連結の有無という尺度が、河道平面形状の種類(非貯留あるいは蛇行短絡型か、貯留型か)、有意な幅の高水敷の有無、堤防沿いの樹木群帯（ただし川側）の有無によって変わる可能性が高い。このことは、同じ破堤であっても、破堤点における河道条件によって破堤規模が変わりうること、したがって、破堤現象が河道の諸条件と独立して存在するのではなく、河道の諸条件とも関係を持ちながら決まっていくことを強く示唆しており、重要である。

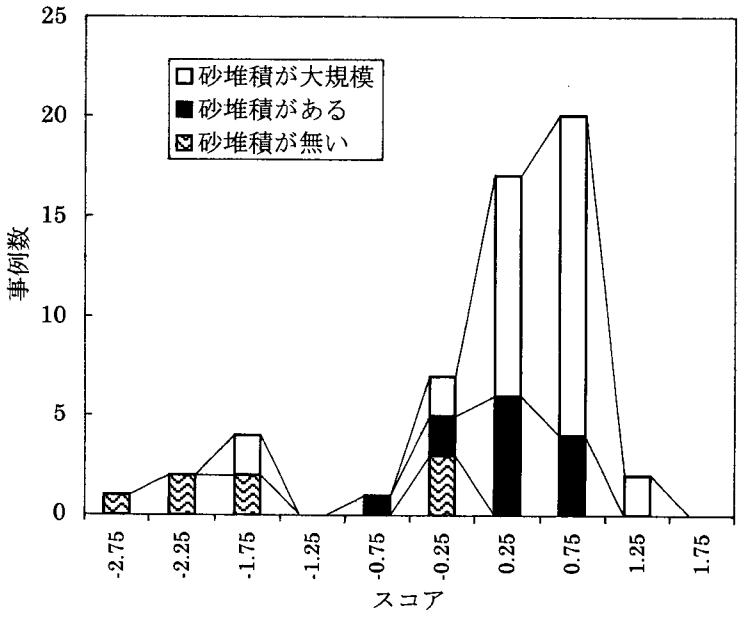
また、4．2．2，4．2．3に示された相関は、定性的ではあるが物理的にも説明しうるものになっている。たとえば、河道平面形状が蛇行短絡型や非貯留型であれば氾濫水が河道内の流れのエネルギーをそのまま保持しながら破堤点および堤内地を走る形になり、この項目が上記の破堤の規模を大きくする要因になっていることはメカニズムという観点から理解しやすい。高水敷や堤防沿い樹木群帯

（本調査ではすべて川側）の存在が上記の破堤規模を小さくする方向の要因として作用することも、これらが流水に与える影響から（樹木群帯については文献12)）物理的に説明することが可能である。統計的に示された相関の物理的意味を定量的に説明し予測にまでつなげるためには今後多くの検討を要するが、少なくとも本分析結果は破堤形態と河道条件との関係について重要な情報を提供していると言える。

a)カテゴリー・スコア

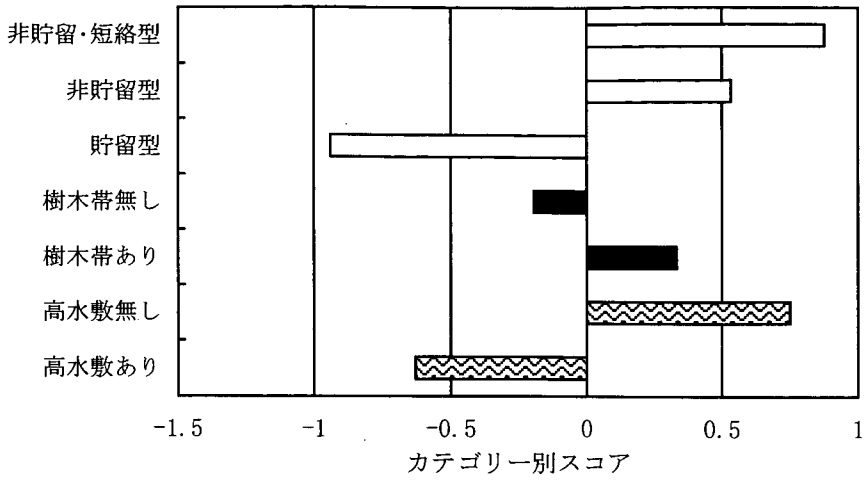


b)外的基準別のサンプル・スコア頻度分布

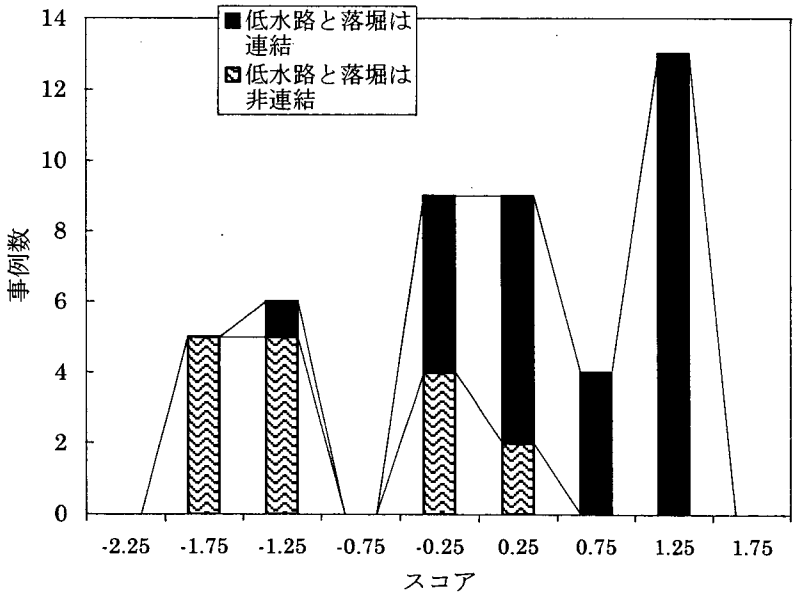


図－4　砂堆積規模に関する要因の影響度（外的基準設定法その１）

a)カテゴリー・スコア



b) 外的基準別のサンプル・スコア頻度分布

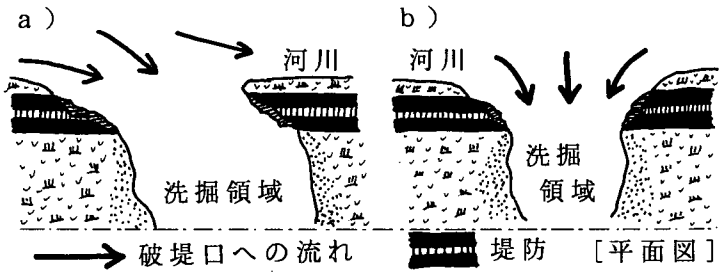


図－5　低水路水面と洗掘領域との連結の有無に関する要因の影響度（外的基準設定法その2）

第５章　破堤形態のその他の特徴

５．１　破堤点切り口の形・開口幅

破堤地点の堤防切り口の形を観察すると、次のような傾向が見て取れる(図－６参照)。破堤地点が水衝部に位置するなどしてその堤外側の流れが河道法線方向に相当の流勢を持つ場合には、図－６a)に示すように切り口が平面図上で堤防横断線から大きな角度を持ち、上流側切り口は堤内側ほど長く伸び、下流側切り口は堤外側ほど長く伸びる。一方、破堤地点が厚い樹木群帯の背後に当たるなどして、そこでの堤外側の河道法線方向の流勢が小さいか無い場合には、図－６b)に示すように、上下流側の切り口は対称形で、切り口の堤内側が堤外側よりやや伸びた平面形になる。これらの特徴が現れる原因として、堤防破断面がほぼ一様な侵食力を受けるように、言い換えれば、破断面の一部に流速が集中したり、逆に一部が死水域状になることがないように平面形状が調整されることがあげられる。この特徴は、砂を堤体・基盤材料に用いた、河川流がある条件での破堤実験[4)5)]にも現れており、興味深い。



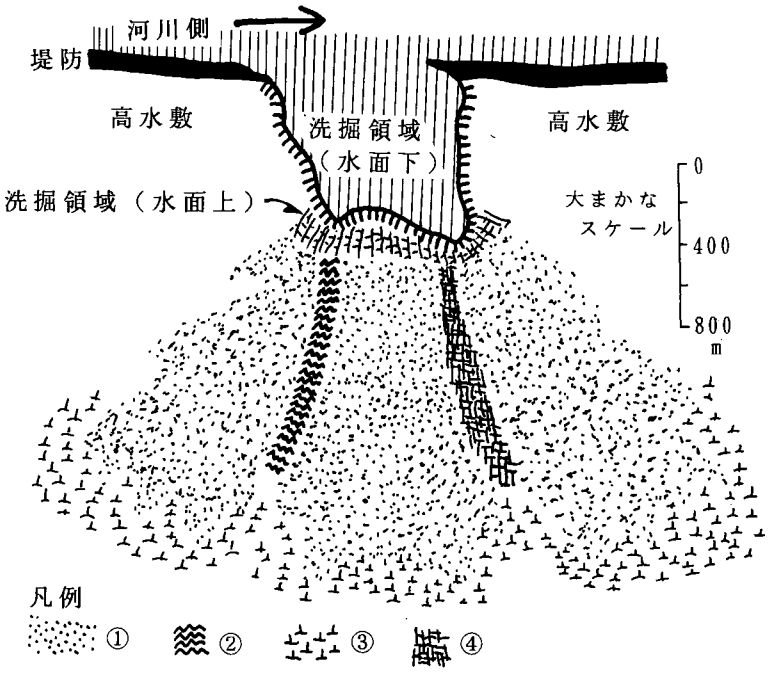
図－６　破堤部堤防切り口の平面形

破堤開口幅については、堤間幅よりも大きいものは見られないことを除けば、川幅との関連は薄く、表－２にあげた条件など他の因子の影響が強いようである。

５．２　洗掘領域・砂堆積域の特徴

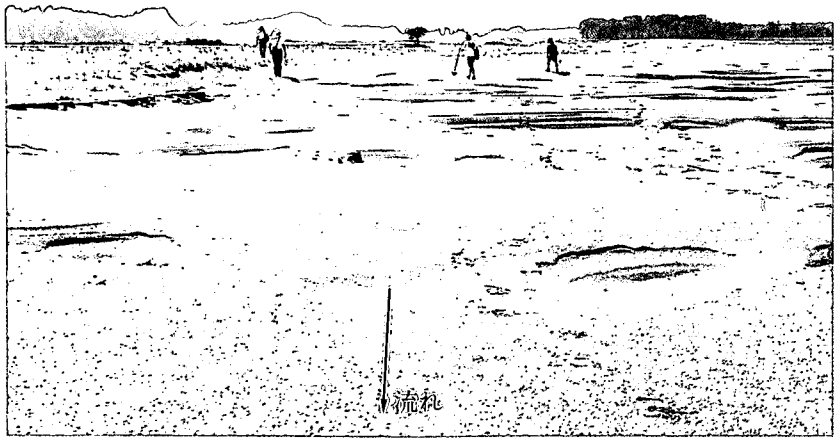
ここでは、現地踏査地点(ロ)(図１参照；写真－１f)、図－３b)と同一地点)での状況をとりあげる。この破堤形態はタイプⅨに分類され、大規模な砂堆積領域を持つ。図－７に現地踏査より得られた洗掘堆積状況観察図を示す。また、図中の領域①では厚さ１ｍに及ぶ細砂が堆積しており、表面はふわふわで植生は全く繁茂していない。領域③も堆積領域であるが堆積厚は数cm～10cm程度に過ぎず、またシルトなどの細粒土砂の上に細砂が乗っている。この領域では草が繁茂し始めていた。領域②は元の堤内地盤高よりも低く明らかな洗掘領域であるが、砂で被われ３次元性の強い砂堆が残っている(写真－２a) 参照)。領域④は元の堤内地盤より低く洗掘領域であり、すべて粘着性材料からなり、その境界は最大１ｍ程度のほぼ鉛直の壁で仕切られ、中は波打ったり引っかいたような侵食形状を残している (写真－２b) 参照)。以上のように、水面が存在する洗掘領域の外側の領域において、破堤口からの距離が同じでも洗掘傾向の場所と堆積が顕著に進む場所が共存することは興味深い。

なお、現地踏査地点(イ)(ここは条件Gを満たす非貯留・短絡型)の破堤に伴う地形変化については、米国地質調査所のJacobson博士を中心とするグループが詳細な調査を行っている[11]。それによると、堤内地のネットの土砂堆積量は8百万㎥であり（主に砂)、水面下にある洗掘領域の長さは2200m、幅は100～600m、最大深さは20m以上で、洪水時には最大3m程度の流速が生じていた。



図－7　洗掘堆積状況観察図（踏査地点（口））
－ミズーリ川Berger近く－

a) 図-7の領域②に当たる場所



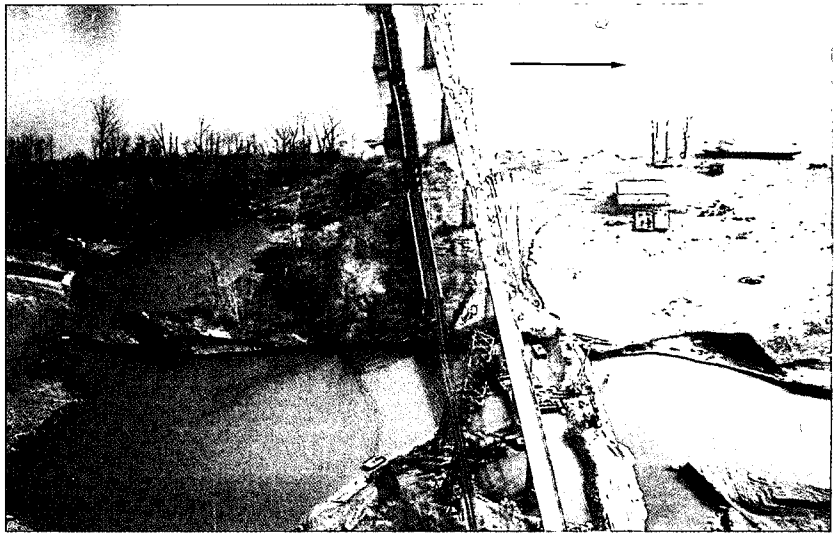
b) 図-7の領域④に当たる場所



写真－2　踏査地点（ロ）の状況



写真－3　ミズーリ川Waldron近くの洗掘状況



写真－4　ミズーリ川Glasgow近くの高水敷洗掘状況



写真－５　河岸侵食の状況（ミズーリ川Pomeroy近く）



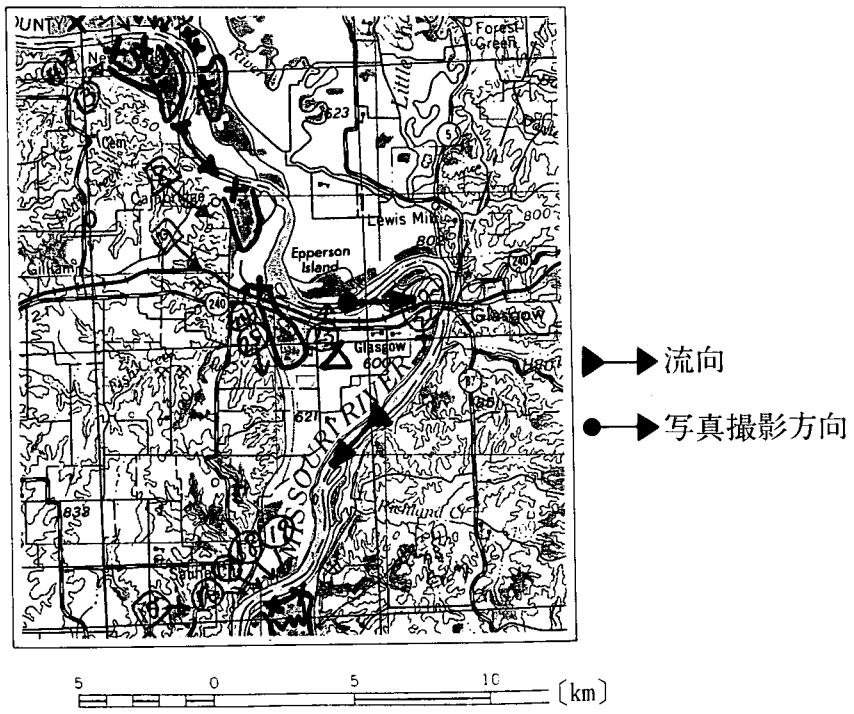
写真－６　タイプIX(2)の破堤地点におけるリップラップの残骸
（ミズーリ川Lisbon近く、写真－１g）と同じ）

第６章　破堤箇所以外の洗掘・侵食

飛行機上の観察と写真の分析から、破堤箇所以外の洗掘や河岸侵食も認められた。これには２つのパターンがあった。１つは、急な湾曲の内岸側の堤防表法尻あるいは高水敷が洗掘を受けるというものであり、もう１つは、水制の直下流から始まる河岸侵食である。

写真－３と写真－４は前者の例である。写真－３では、急に湾曲する内岸側の堤防に沿って、堤防表法尻とその前面の高水敷が顕著な洗掘を受けていることがよくわかる。写真－４の撮影位置は図－８に示されている。この図から、写真－４は、ヘアピンに近い低水路急湾曲を短絡するような高水敷上の流れが生じていたと推定される場所に当たる。高水敷の洗掘規模は大きく、橋梁被災を招いている。このような洗掘が生じた理由として、1)洪水の規模が大きく、高水敷水深が大きい状態が長時間続いたこと、2)主流が低水路沿いではなく低水路蛇行を短絡するように走ったこと、3)急湾曲部で河床横断形状が平坦に保たれる条件(高水敷もこの条件を満たす)では、内岸よりの流れの方が湾曲区間を抜けるまでの経路が外岸より短くなり水面勾配が大きくなるため、特に上流側で内岸の流速が外岸よりも速くなること、などがあげられる。

水制の直下流から始まる河岸侵食の例は写真－５に示されている*)。これからわかるように、河岸



図－８　写真４の撮影位置図

*)このタイプの侵食の中には、今回の洪水で起こったと必ずしも断定できないものも多くあった。写真－５もその１つである。しかし、侵食を受けていることは明らかであり、侵食の特徴を記述するという意味で重要と考え、紹介した。

侵食は水制の直下流が最も顕著で、下流に行くと目立たなくなる。この性質は他の事例にも共通しており、河岸侵食が水制の存在に伴って起こったことを強く示唆するものである。調査対象河川区間では、航路維持の目的で多くの水制が設置され、その多くは下流に少し傾いた平面形状を持つ水制を湾曲内岸側に置くというものである。結果として、このタイプの河岸侵食は湾曲内岸で多く見られた(写真－５もその１つ)。

一方、水制の存在や破堤による洗掘領域と無関係に起こった河岸侵食の事例は、機上の観察と写真の分析を見る限り、湾曲外岸を含め一カ所も確認できなかった。写真－５を見ても、侵食を受けた内岸と比較して外岸側には変状が認められない。調査対象区間では、内岸水制との組み合わせで、外岸にはリップラップが用いられているとのことであり、湾曲外岸区間において破堤洗掘領域と低水路が連結した箇所では、最大粒径40～50cmの大規模なリップラップの残骸が確認できた（写真－６参照)。

第7章　おわりに

最初に述べたように、本研究で取り上げた破堤事例は、日本とは同じでない堤防・河道の条件の下で非常に大きな規模の洪水によって起こされたものであり、分析結果をそのまま日本の堤防に当てはめることには慎重でなければならない。一方で、大規模洪水に対する堤防・河道の変状を知る機会は非常に少なく、また、このような変状を机上の検討だけから想定するのは実際むずかしい。したがって、「本当に大きな洪水が来たときに堤防や河道にどのようなことが起こりうるのか」を検討するための参考として、本破堤事例を参照する意義はあると言える。このような観点から見たとき、分析結果から導かれる次の事項が、日本における破堤災害のリスク・マネージメントを考える上で、参考になると考えられる。

1) 破堤は、単に水が氾濫するだけでなく、場合によっては、大規模な洗掘と堆積を堤内地にもたらす可能性があり、これらが引き起こす災害にも留意する必要がある。
2) 破堤に伴う地形変化の規模は、破堤地点での堤防・河道法線の平面形や、堤防前面の高水敷・樹木群帯の有無など、堤防・河道自体の諸特性により大きく変わりうる。したがって、河道の整備・管理と破堤災害のリスク・マネージメントとは関連を持ちうる。
3) 大洪水時には、急湾曲部の内岸側にある高水敷を水が走り、洗掘に伴う構造物被災が起こる可能性がある。
4) 1カ所の破堤がその周辺堤防への外力を急変させ(水位の急低下、氾濫水の河道への再流れ込みなど)新たな堤防破壊を呼ぶ可能性がある(“連鎖破堤”の危険性)。

謝辞

本調査は、米国地質調査所への長期在外研究の機会を著者に与えていただいた科学技術庁および建設省の関係各位、破堤形態調査の実施に大いなる便宜を図っていただき有益な情報をいただいた米国地質調査所R.B.Jacobson、R.H.Meade両博士によりはじめて可能になりました。ここに深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 建設省遠賀川工事務所：遠賀川筋植木堤防破堤の原因とその復旧工事用土について、第8回建設省直轄工事技術研究会報告、pp.307－315、1985.
2) 伊勢屋ふじこ、池田宏、三上靖彦：1981年8月小貝川破堤地点における地形変化、筑波大学水理実験センター報告、第6号、pp.117、1982.
3) 山本晃一、末次忠司、桐生祝男：氾濫シミュレーション（2）、土木研究所資料、第2175号、pp.18－30、1985.
4) 藤田裕一郎、田村多佳志、村本嘉雄：河川堤防決壊口の拡大過程に関する実験的研究、京都大学防災研究所年報、第27号B－2、pp.369－392、1984.
5) 藤田裕一郎、村本嘉雄、田村多佳志：河川堤防の決壊に伴う外水と土砂の流入について、京都大学防災研究所年報、第30号B－2、pp.527－549、1987.
6) 高橋保、中川一：堤防決壊による土砂堆積のシミュレーション、京都大学防災研究所年報、第32号B－2、pp.733－756、1989.
7) 末次忠司：ミシシッピ川における水害と治水、土木技術資料、第36巻、第5号、pp.66－71、1994.
8) 米国河川研究会編：洪水とアメリカ、山海堂、1994.
9) 福岡捷二、藤田光一、森田克史：越水を伴う洪水流による堤防被災機構の調査およびその解析、土木技術資料、第30巻、第3号、pp.21－26、1988.
10) 田中豊、垂水共介、脇本和昌編:パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編,共立出版,第13章,1984.
11) Jacobson, R. B. and K A. Oberg: Geomorphic changes of the Mississippi River flood plain at Miller City, Illinois, as a result of the flood of 1993: U.S. Geological Survey Circular 1120－J, 22 p., 1997.
12) 坂野章、藤田光一：堤防沿いの樹木群が破堤箇所の流れと河床変動に与える影響に関する実験、土木学会年次学術講演会、第51回、第2部門、pp.638－639、1996.

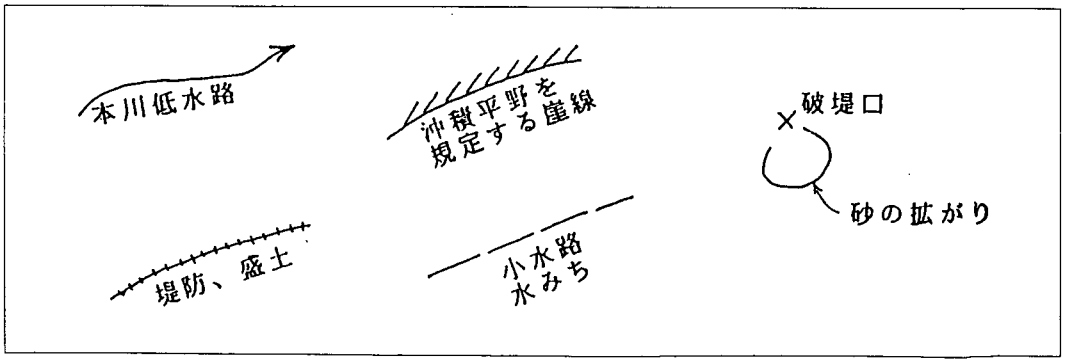
資料編

破堤データファイル

本編における分析の根拠になった破堤事例データすべてについて、データファイルを作成した。各データファイルは原則として見開き２頁で１つであり、その中に次の内容が含まれている。

■破堤形態タイプとデータNo.／河川名／近くの代表地名
■破堤状況を表す写真（写真中の→は河川の流向）
■破堤箇所の平面位置図（図中に河川の流向を表す↦と、掲載写真の撮影方向を表す↔が示されている）（米国地質調査所発行25万分の一地形図に記入）
■破堤形態タイプとその属性（表－２に示されているA～Hのうち該当するもの）
■観察メモ

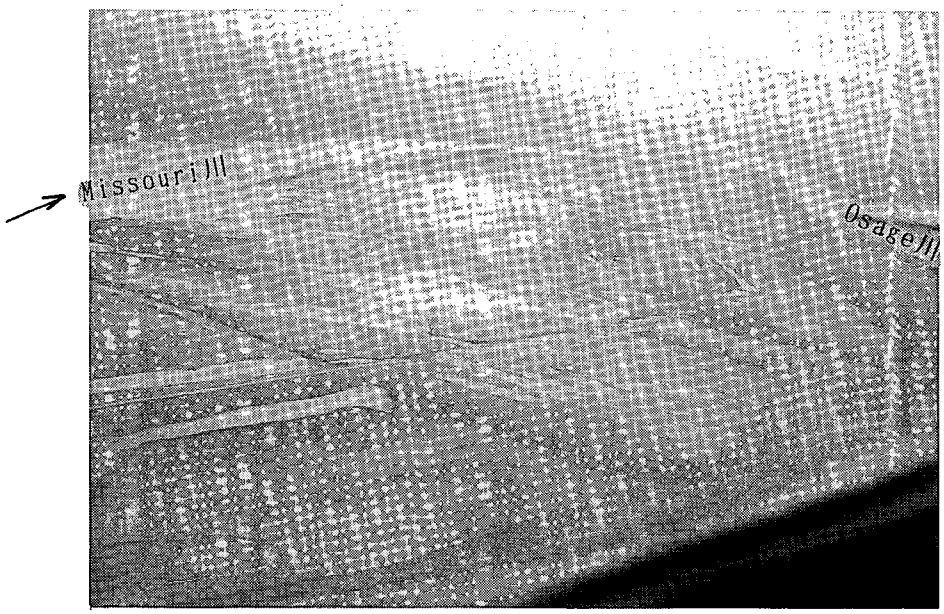
破堤タイプV～XIのデータNo.は、表－３のデータNo.と完全に対応したものになっている。破堤箇所の平面図上の位置特定は、写真と25万分の一の地形図（米国地質調査所発行）を照合することにより行っており、地形図と同等の精度を持つものではないが、河道法線との破堤箇所との相対的な位置関係などを大局的につかむことは可能である。観察メモ中の図の凡例は図－９のとおりである。



図－９　観察メモ中の図の凡例

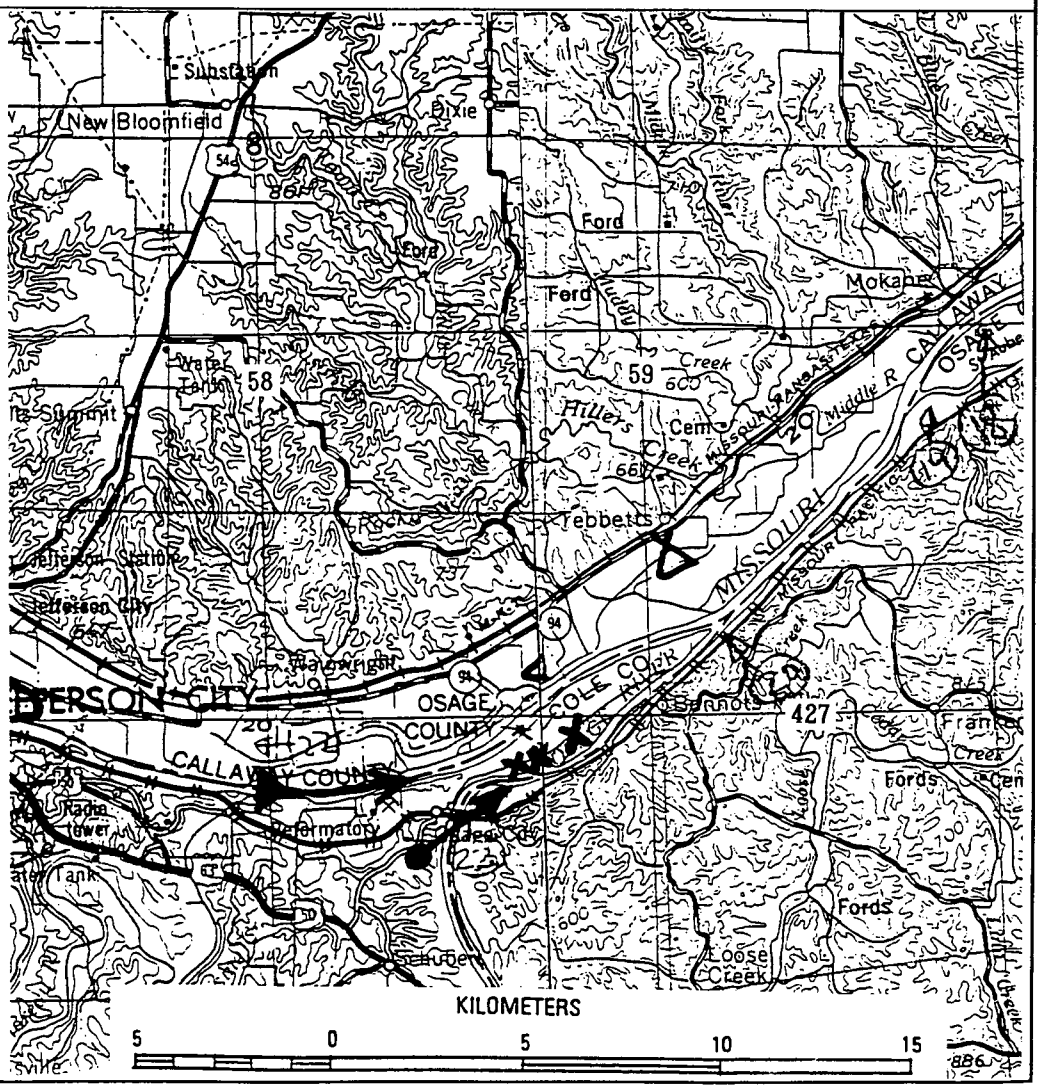
I-1　Missouri川右岸　Osage川合流点の上流部(Jefferson Cityの下流)

写真



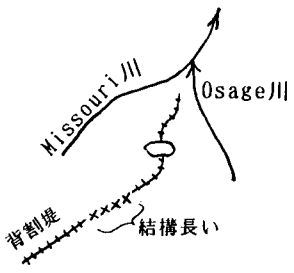
Vol.
5-21

位置図



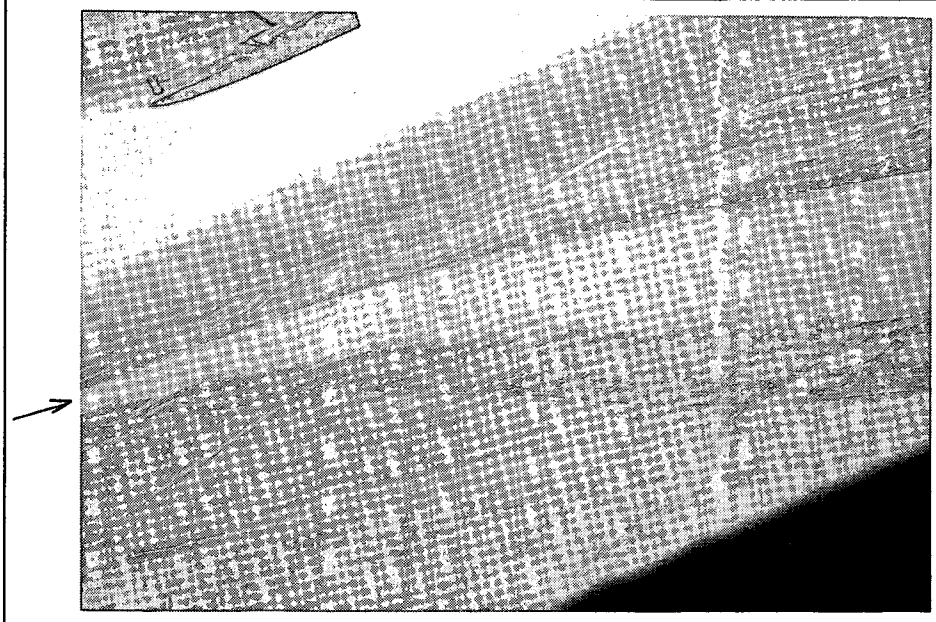
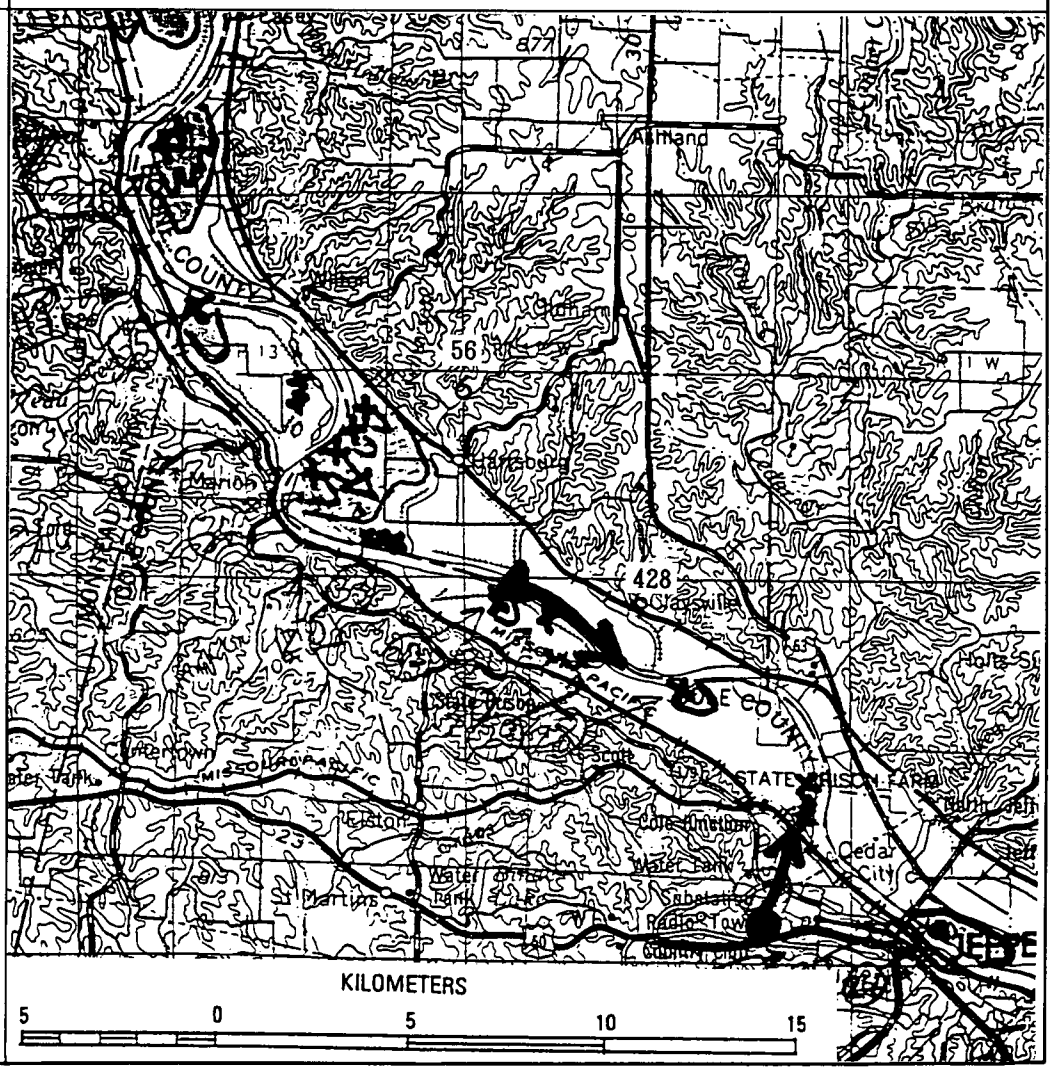
	Ⅰ-1　Missouri川右岸　Osage川合流点の上流部(Jefferson Cityの下流)
破堤形態	Ⅰ

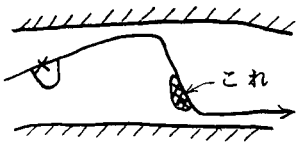
観察メモ



この破堤は、Missouri川とOsage川を分ける背割堤的堤防で生じた。

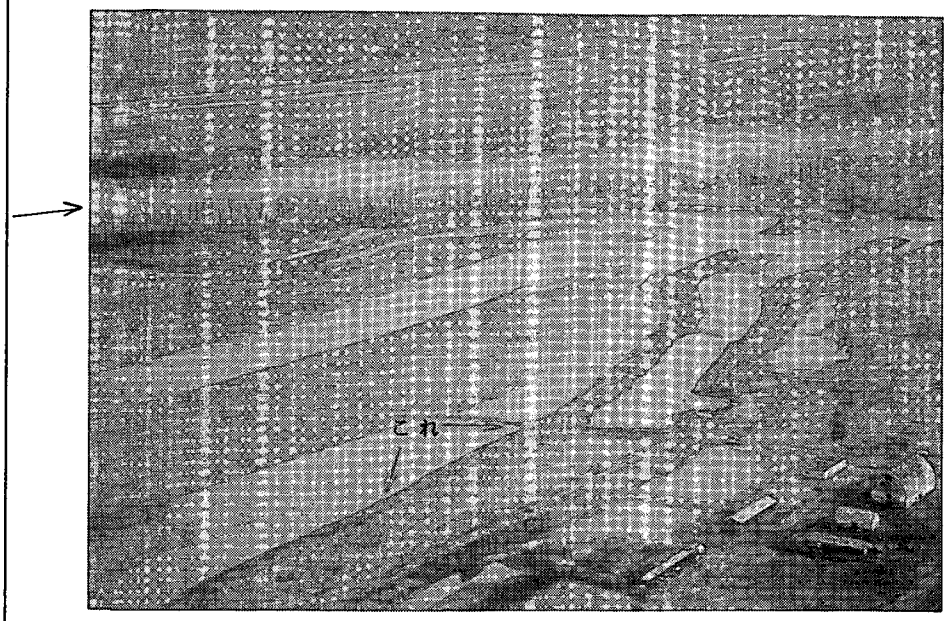
- Missouri川右岸側に高水敷あり（破堤箇所で約250m）。
- 洪水流はMissouri川からOsage川へ流れていたように見えるが、定かでない。
- 明確な砂の拡がりはない。

	I-2 Missouri川右岸 Jefferson City の上流（4k■程）
写真	 vol. 5-27
位置図	

	Ⅰ-2　Missouri川右岸　Jefferson City の上流（4km程）
破堤形態	Ⅰ
観察メモ	 左岸の堤防は元々なかったように見える。大きな落堀、砂の拡がりはなく、戻り流れによる破堤のように見える。

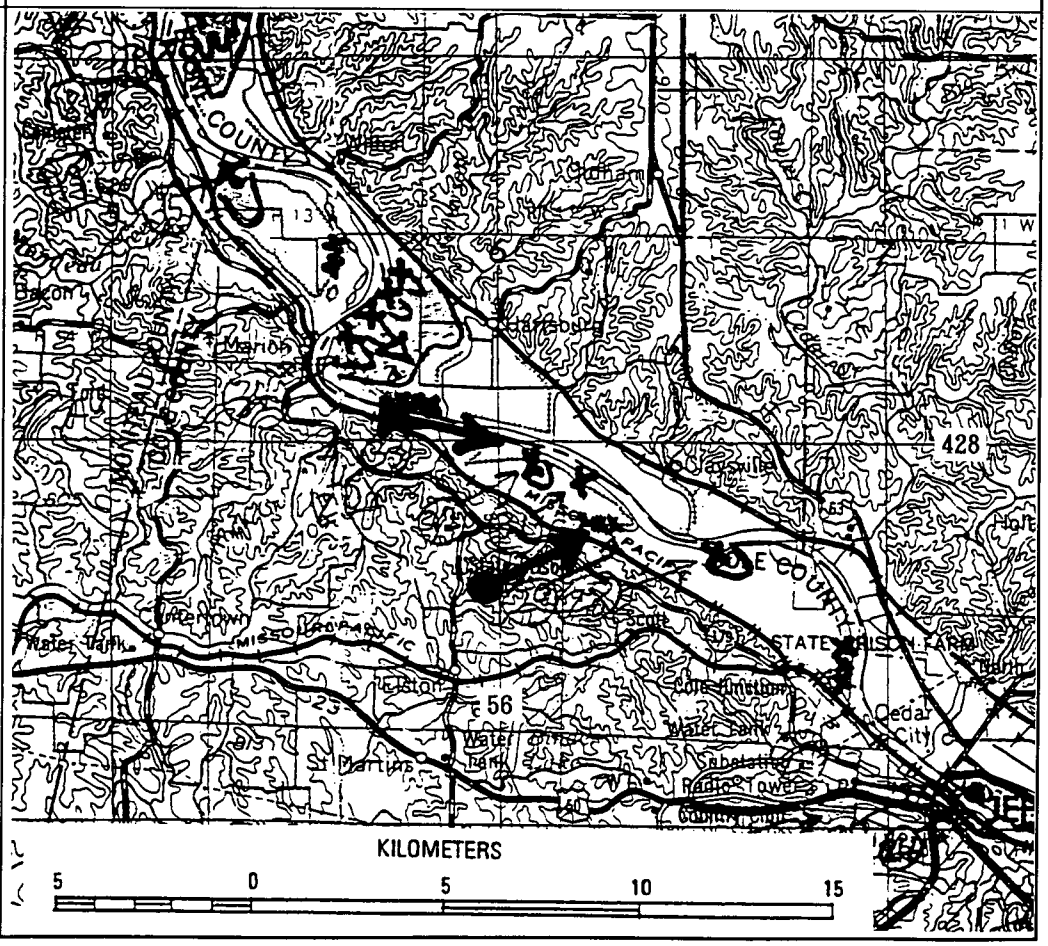
I-3　Missouri 川右岸　Jefferson City の上流（10数km）

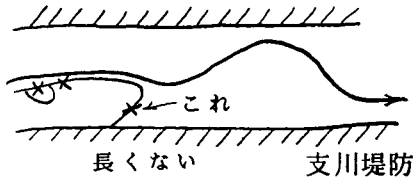
写真



Vol.
5-30

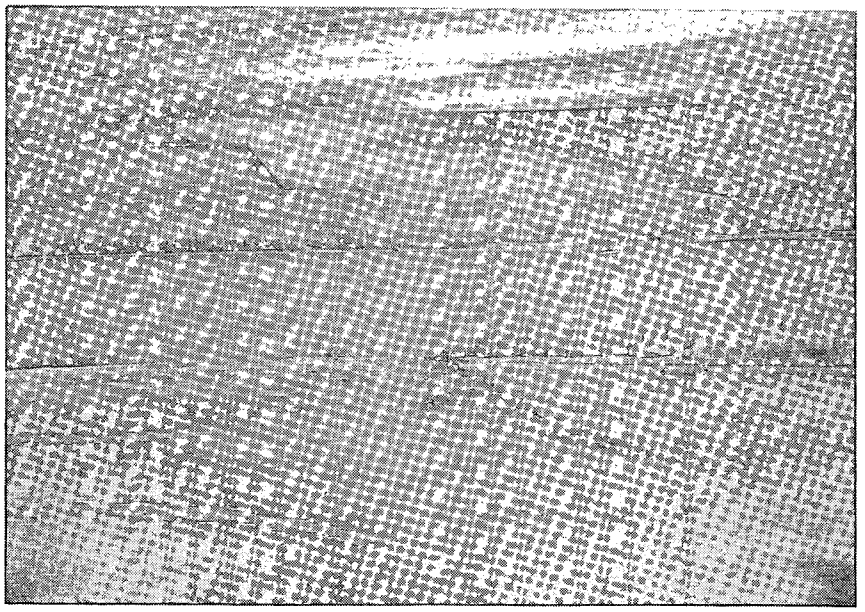
位置図



	I-3　Missouri 川右岸　Jefferson City の上流（10数km）
破堤形態	I
観察メモ	 大きな落堀はなく、堤防の天端部分を中心に流失している。

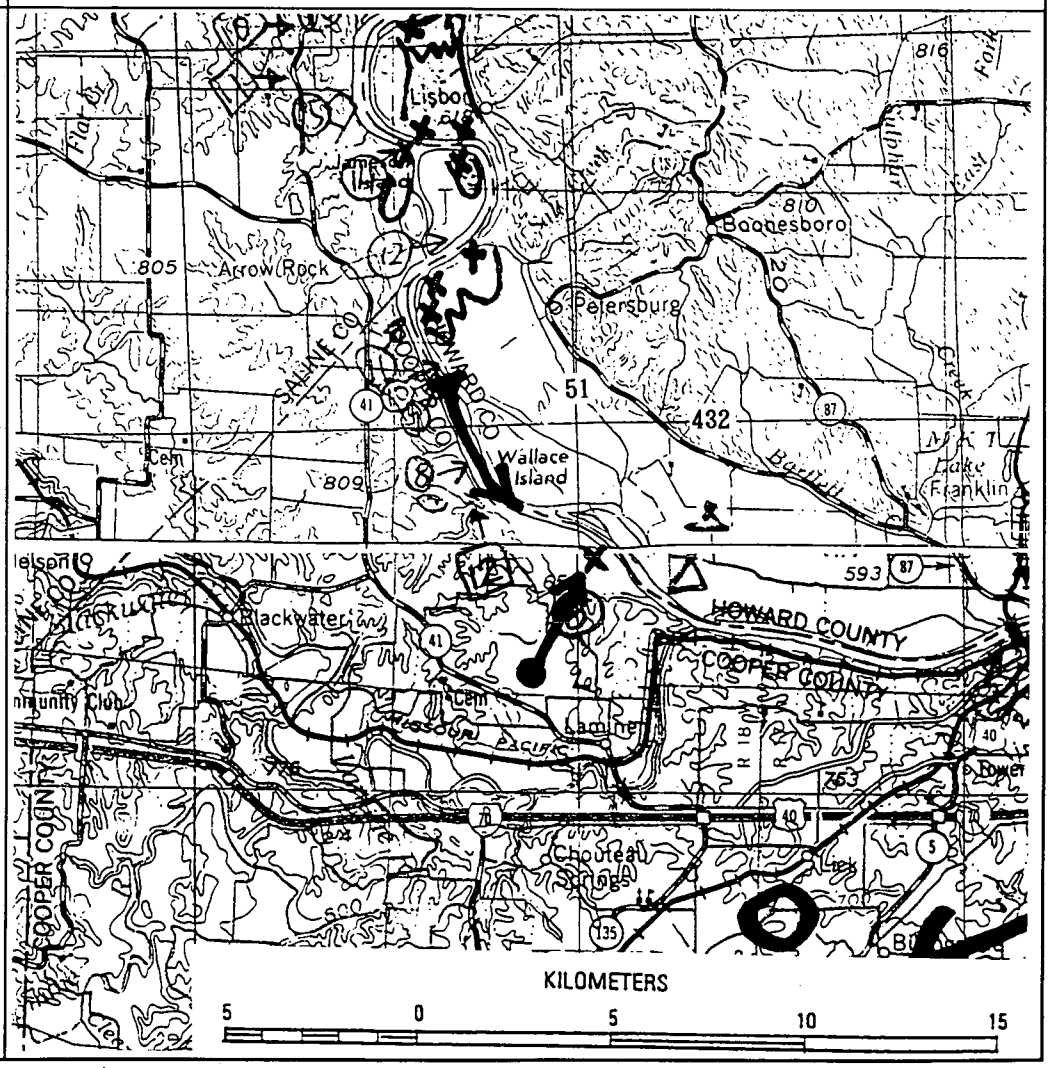
I-4 Missouri 川右岸　Wallace Island 近く

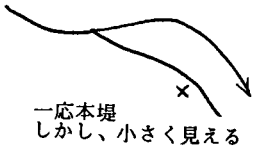
写真



Vol. 6-6

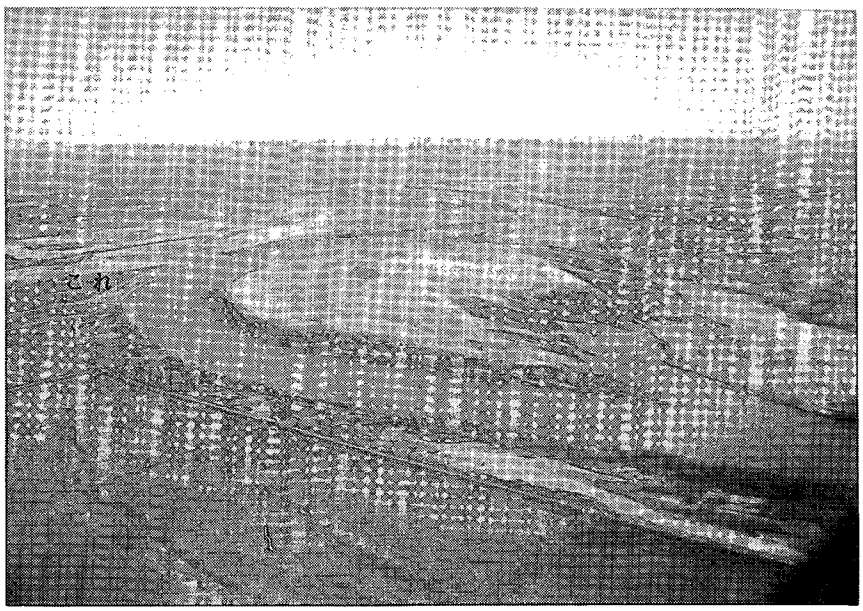
位置図



	I-4　Missouri 川右岸　Wallace Island 近く
破堤形態	I
観察メモ	 この破堤の上部（写真上）には、より大きな規模の破堤が写っている。

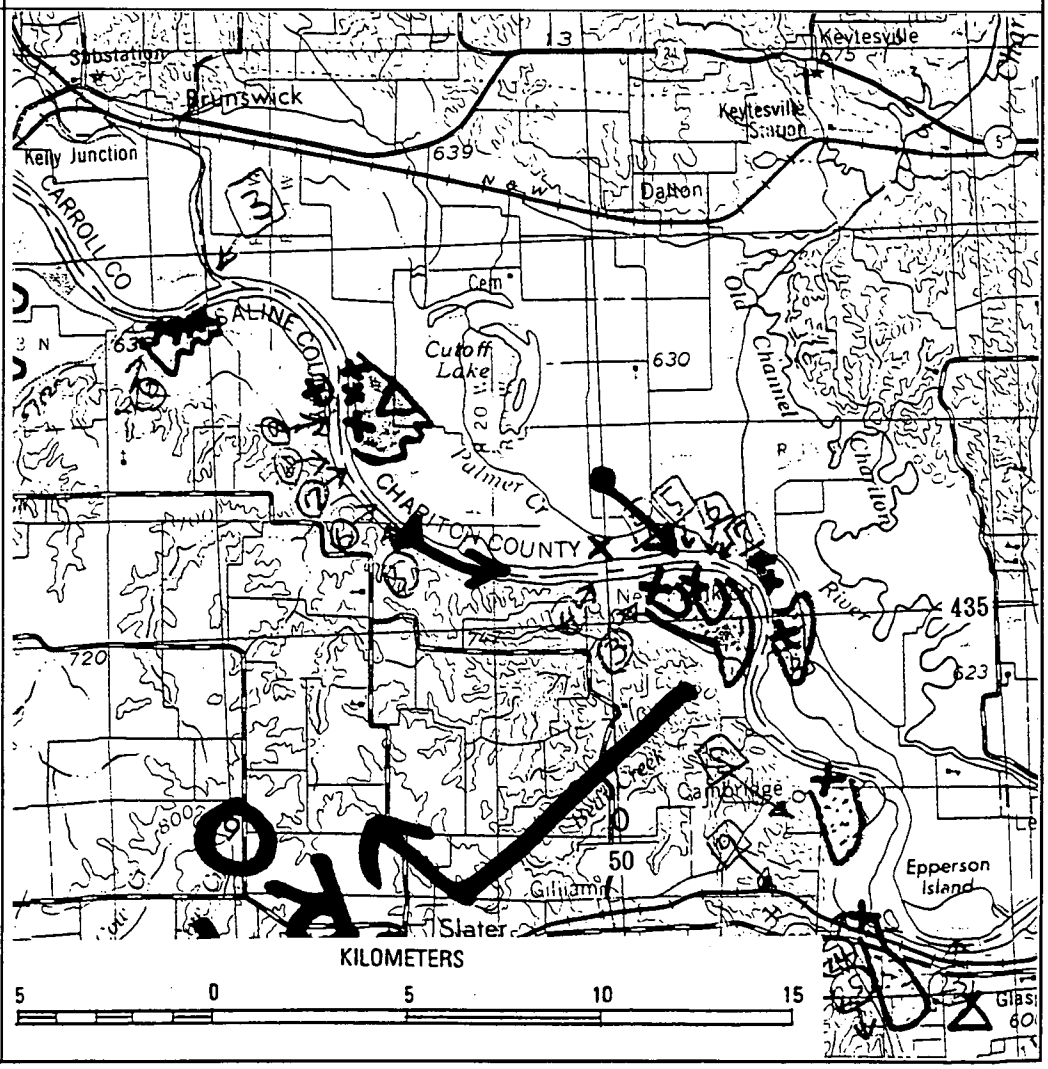
I-5 Missouri 川右岸　New Frankfort 近く

写真



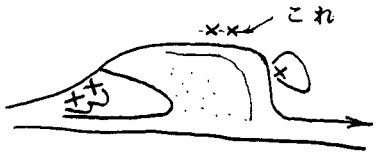
Vol.
10-4

位置図



	I-5 Missouri 川右岸　New Frankfort 近く
破堤形態	I

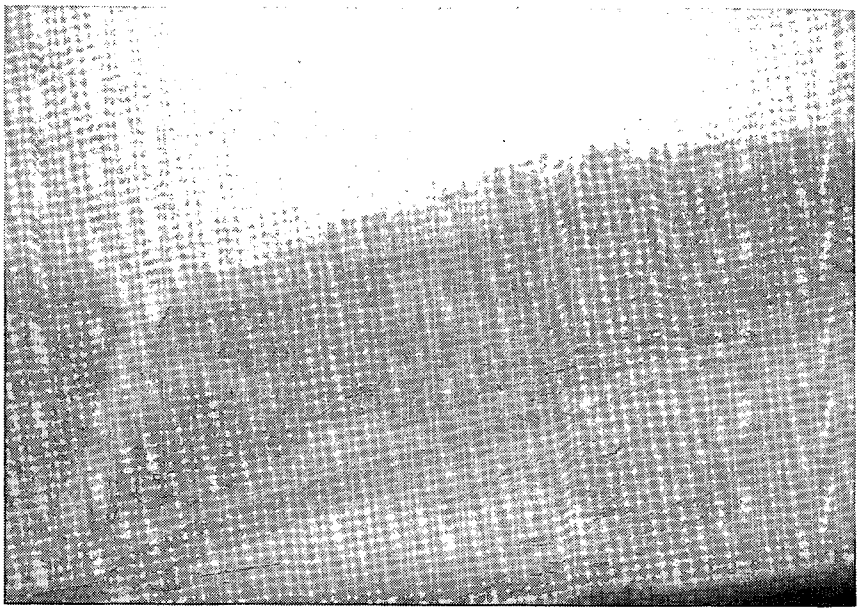
観察メモ



少し上流の箇所も被災している。落堀の位置から見て、戻り流れによるものか？

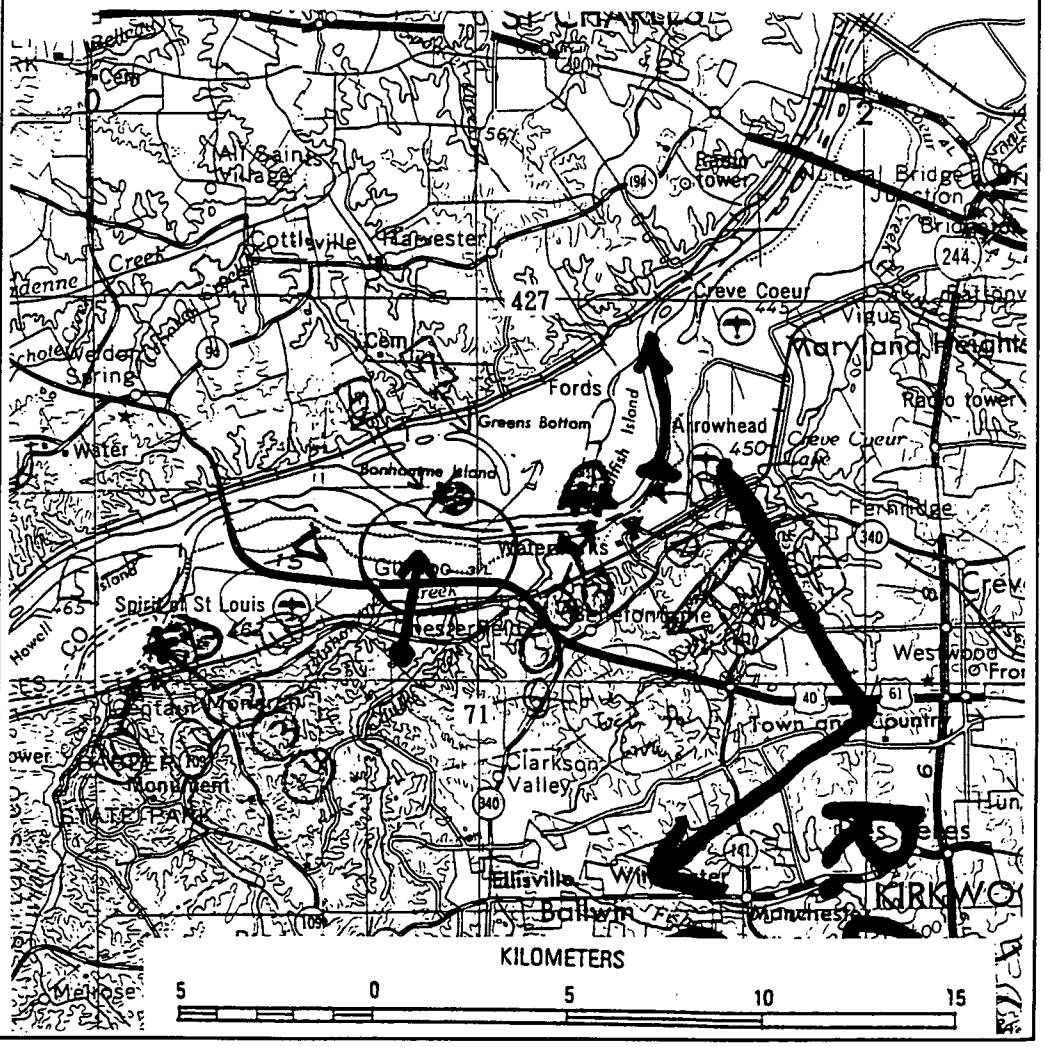
Ⅱ-1　Missouri 川右岸　Spirit of St. Louis 空港 近く

写真



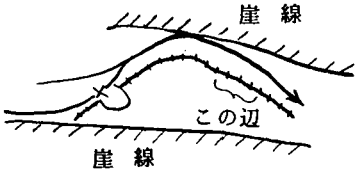
Vol.
4-9

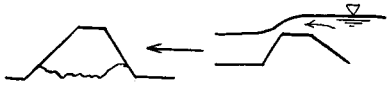
位置図



	Ⅱ-1　Missouri 川右岸　Spirit of St. Louis 空港 近く
破堤形態	Ⅱ

観察メモ

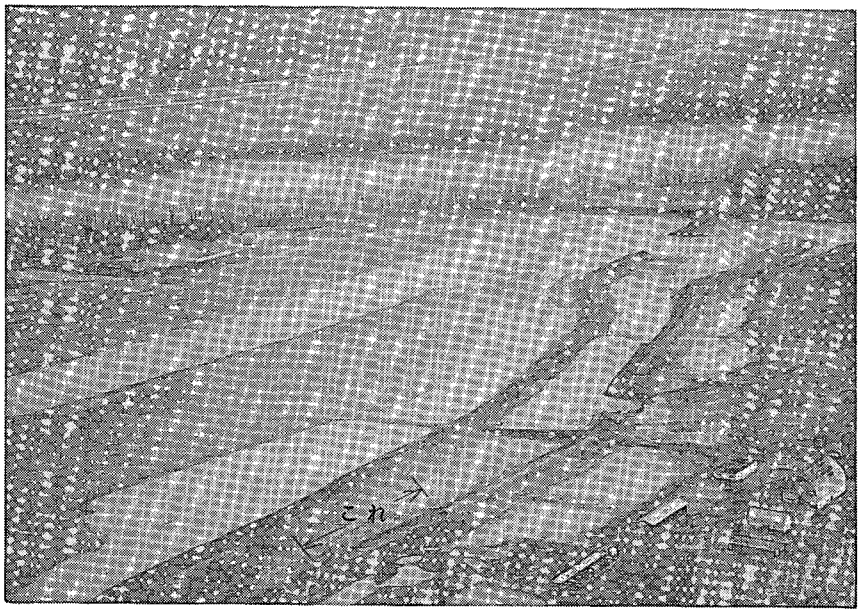




堤防両側の水位が
高かったのか？

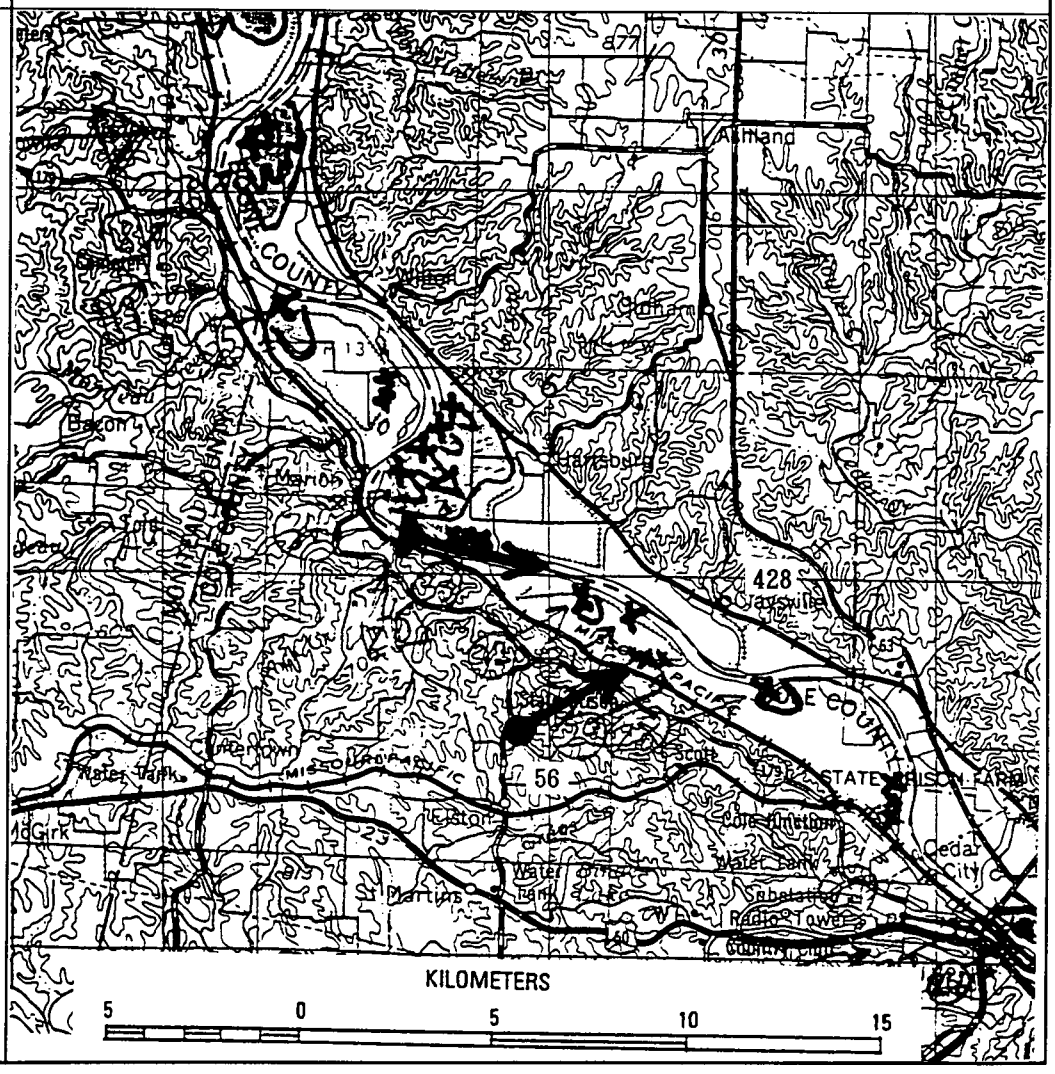
Ⅱ-2　Missouri川右岸　State Prison 付近

写真



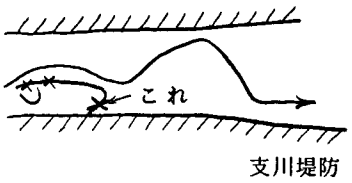
Vol.
5-30

位置図



	Ⅱ-2　Missouri 川右岸　State Prison 近く
破堤形態	Ⅱ

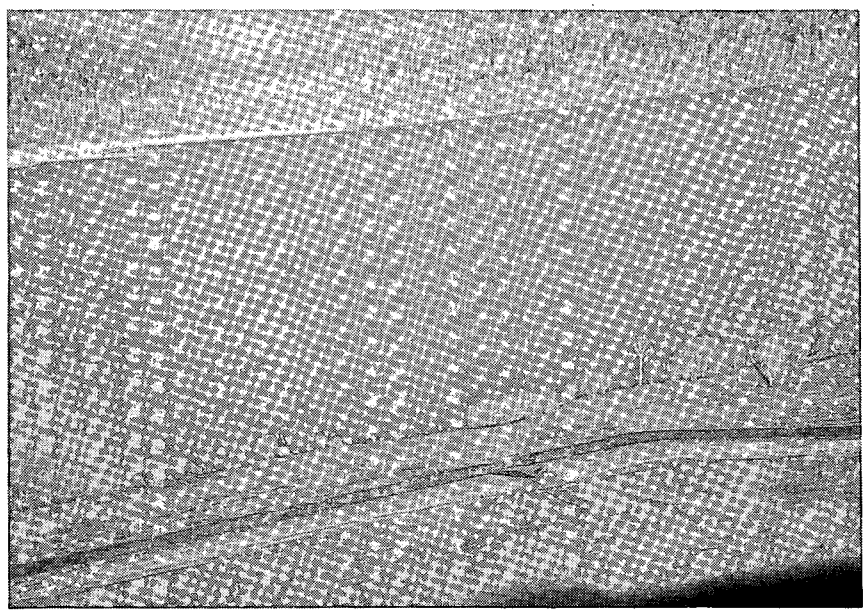
観察メモ



State Prison 付近の支川の破壊。
氾濫水の移動によるものだろう。
（大きな落堀はない。
堤防天端の流失。）

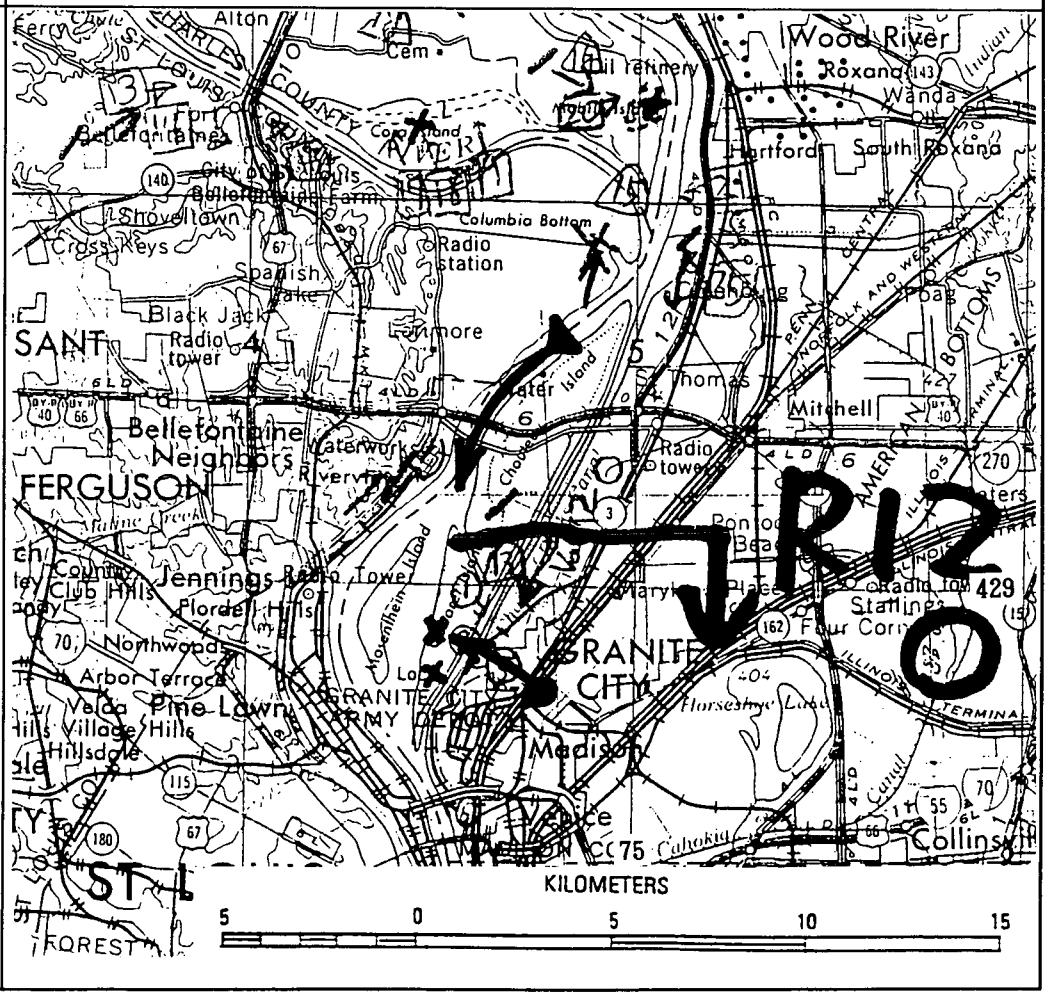
Ⅱ-3 Mississippi 川左岸　Ferguson 近く

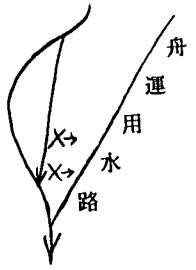
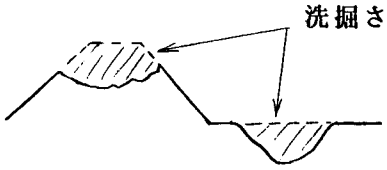
写真



Vol.
12-2

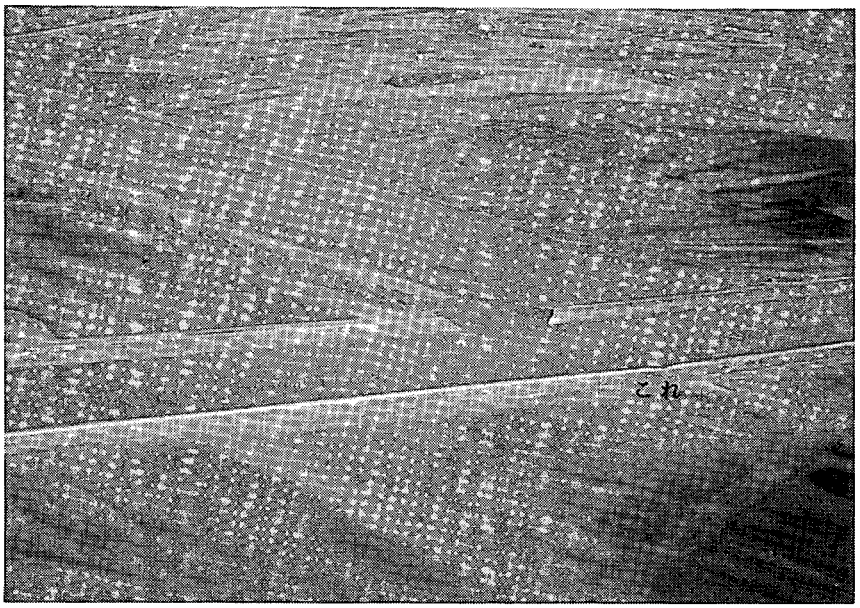
位置図



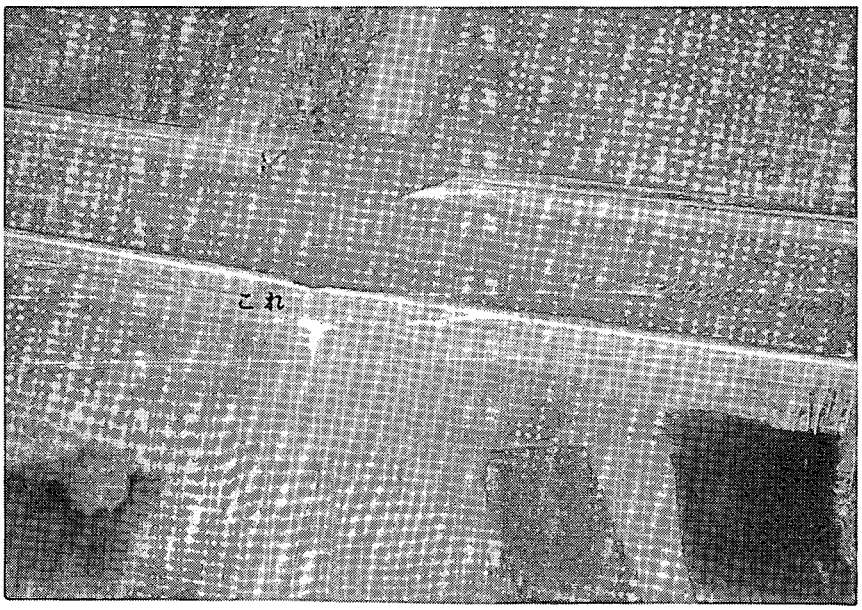
	Ⅱ-3　Mississippi 川左岸　Ferguson 近く
破堤形態	Ⅱ
観察メモ	  なぜ この２ケ所が 洗掘されているのか？

Ⅳ-1　Mississippi 川左岸　支川の Fountain Creek

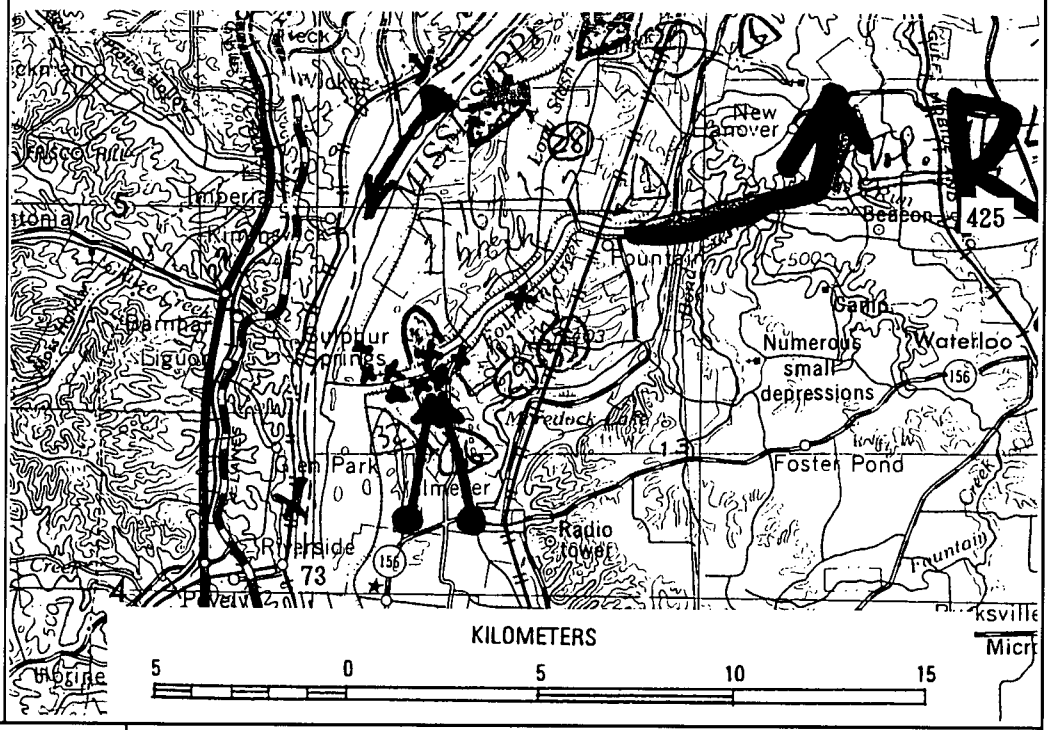
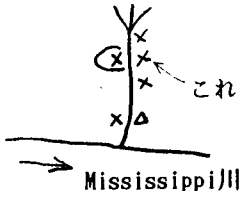
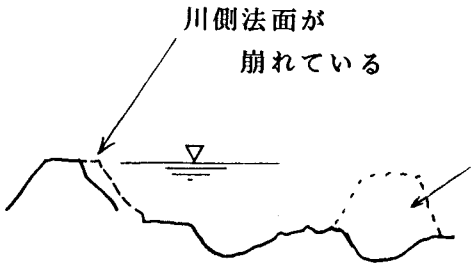
写真



Vol.
15-34

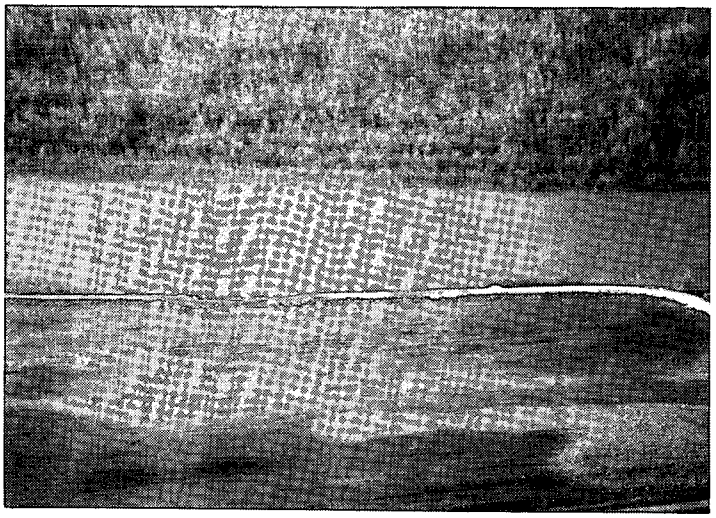


Vol.
15-35

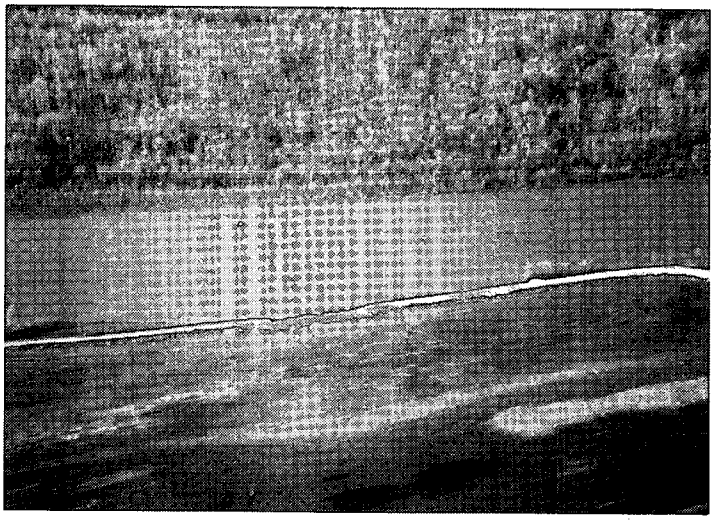
	Ⅳ-1　Mississippi 川左岸　支川の Fountain Creek
位置図	
破堤形態	Ⅳ
観察メモ	  なぜ崩れたのか？ 対岸の破堤が関係しているのか？

Ⅳ-2　Mississippi 川　　Fayville 近く

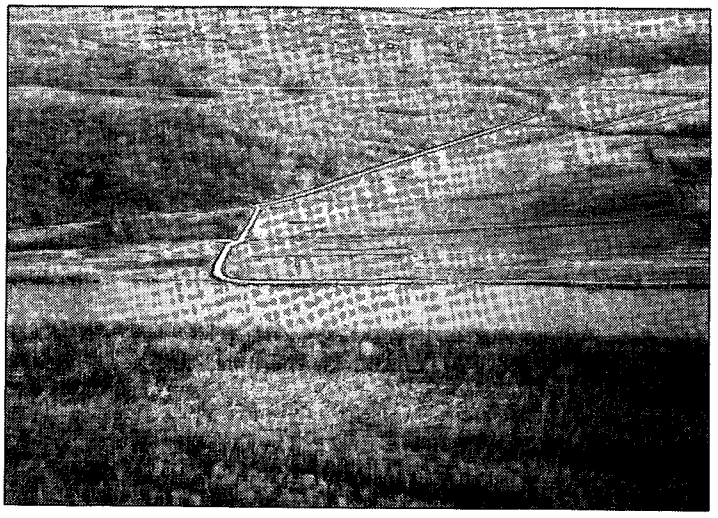
写真



Vol.
13-34



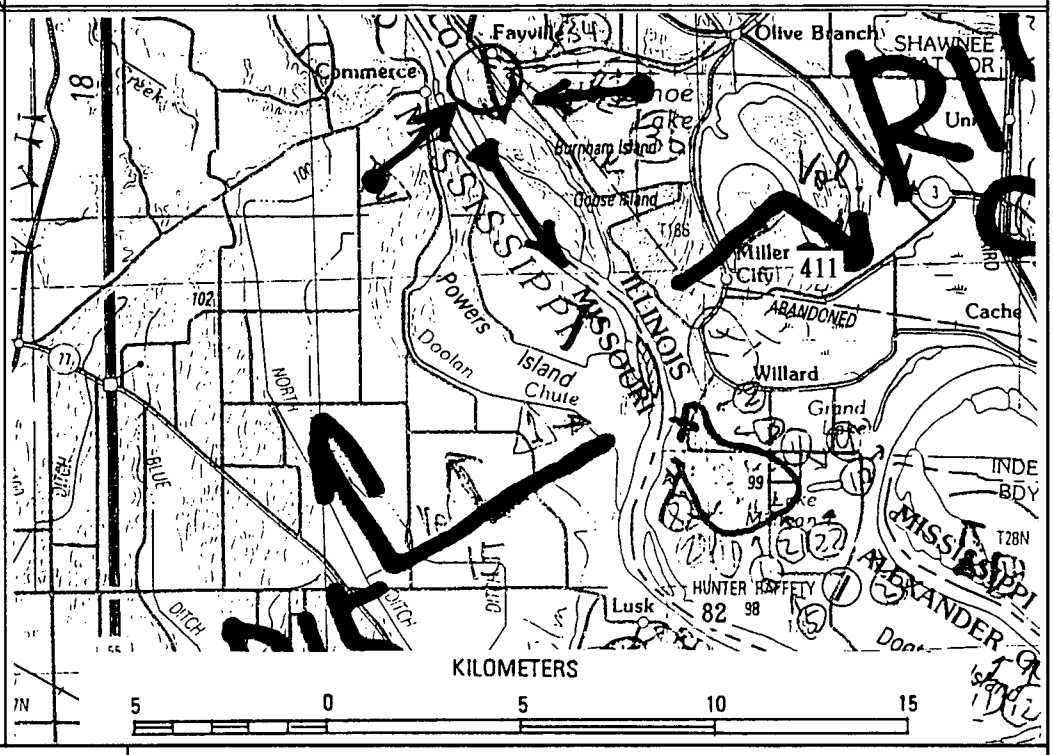
Vol.
13-35



Vol.
15-2

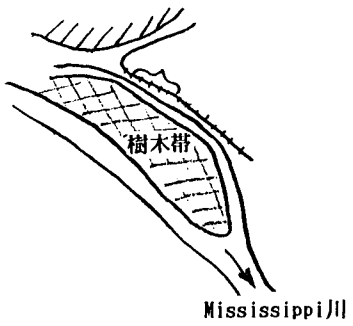
Ⅳ-2　Mississippi 川　　Fayville 近く

位置図



破堤形態　Ⅳ

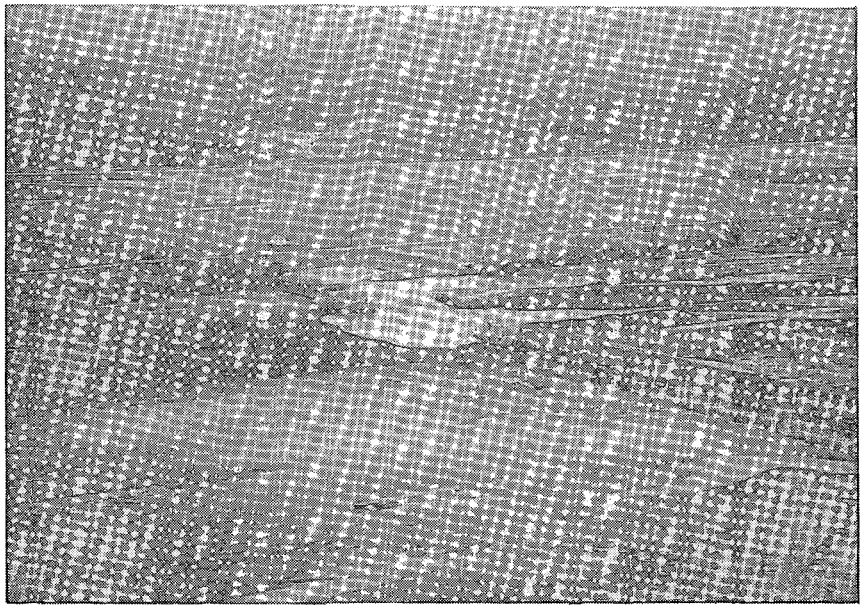
観察メモ



この原因は洗掘ではなさそうである。なぜなら、前面は派川で速い流れが起こりえないと考えられるから。
表法が滑ったように見える。

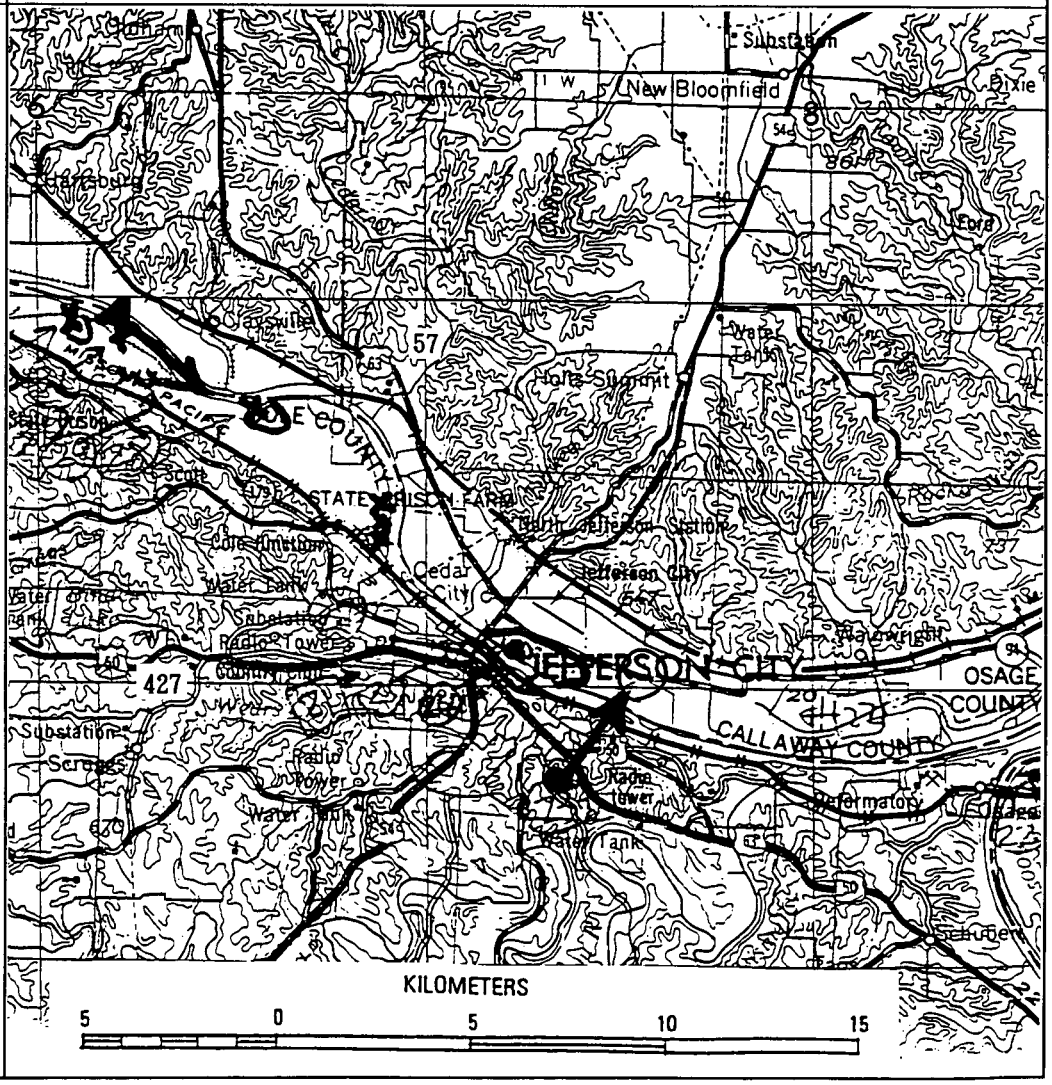
V-1 Missouri 川左岸 Jefferson City 近く

写真



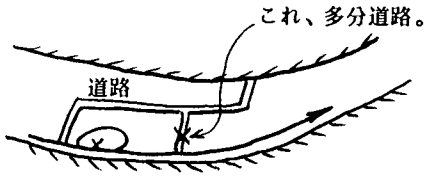
Vol.
5-23

位置図



	V-1　Missouri 川左岸　Jefferson City 近く
破堤形態	V－A、D、I

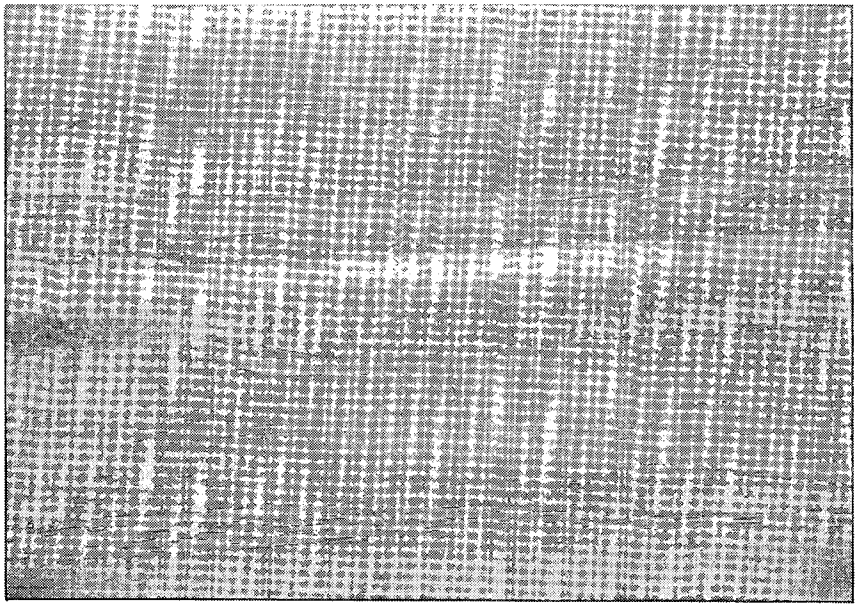
観察メモ



- 低水路幅 400～500m。
- 破堤箇所は低水路左岸から1,000m程の所。
- 道路の分岐点か。

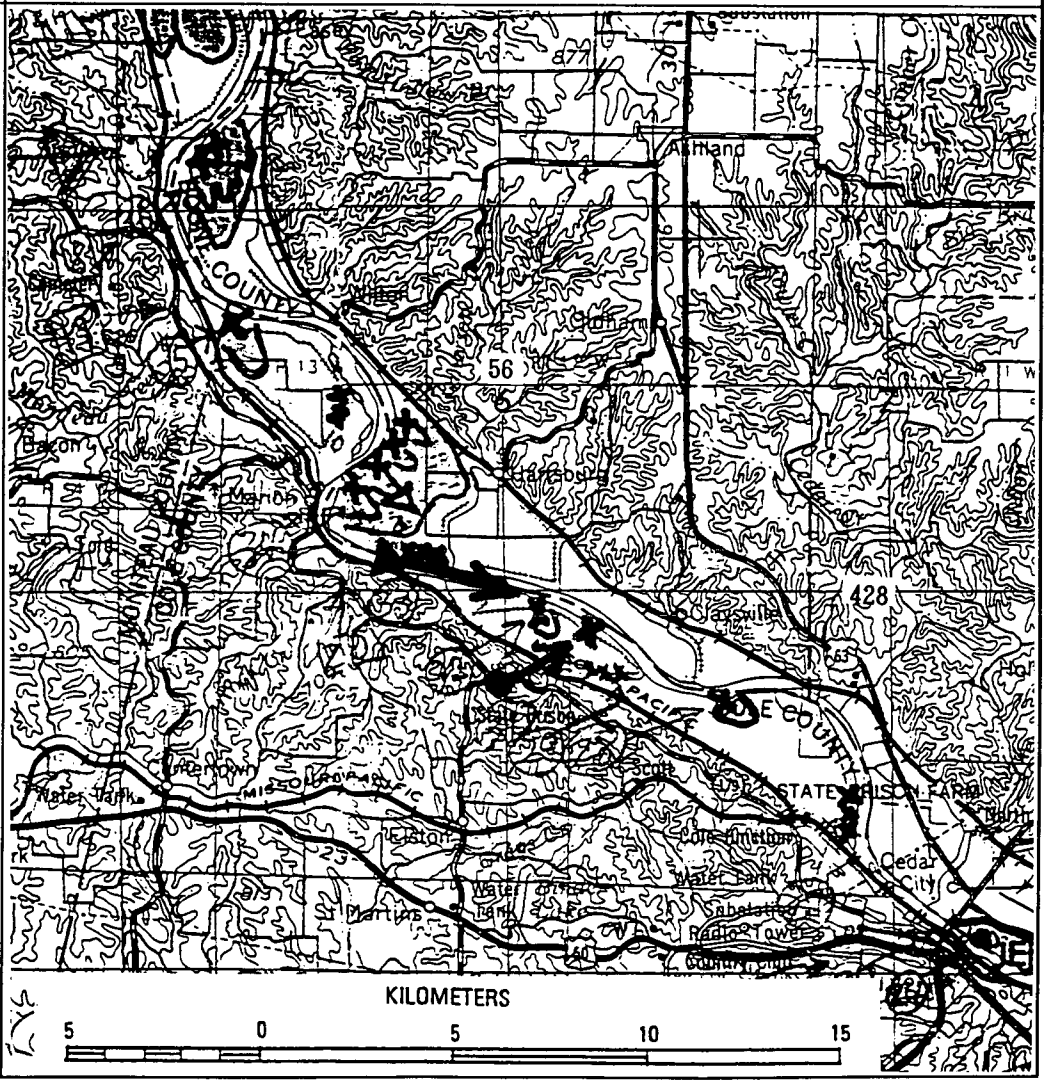
V-2 Missouri 川右岸 State Prison 近く

写真



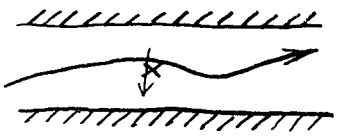
Vol.
5-31

位置図



	V-2 Missouri 川右岸　State Prison 近く
破堤形態	V－A，B，E

観察メモ

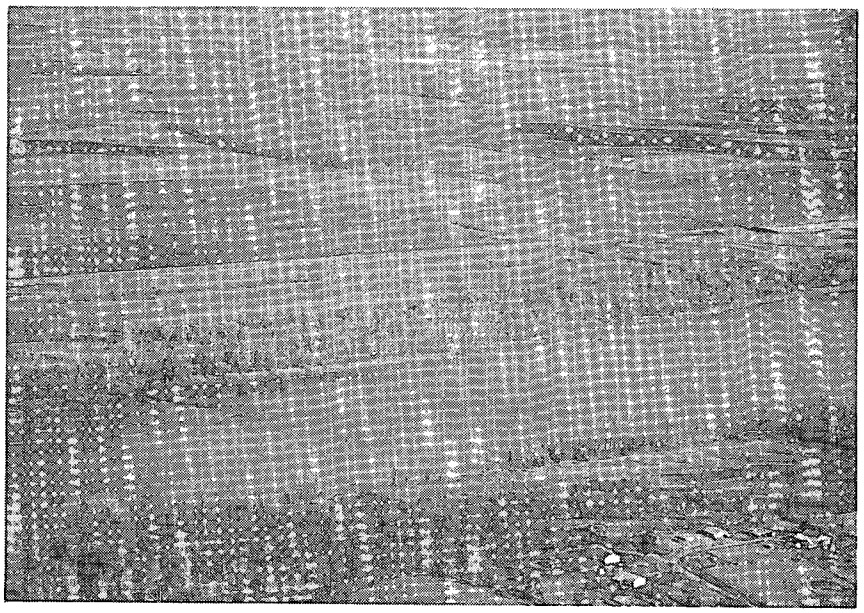


堤防前面に密で厚い
樹木帯あり。

- 低水路幅 500m 程。
- 密集した樹木帯の高水敷幅 200m 程。

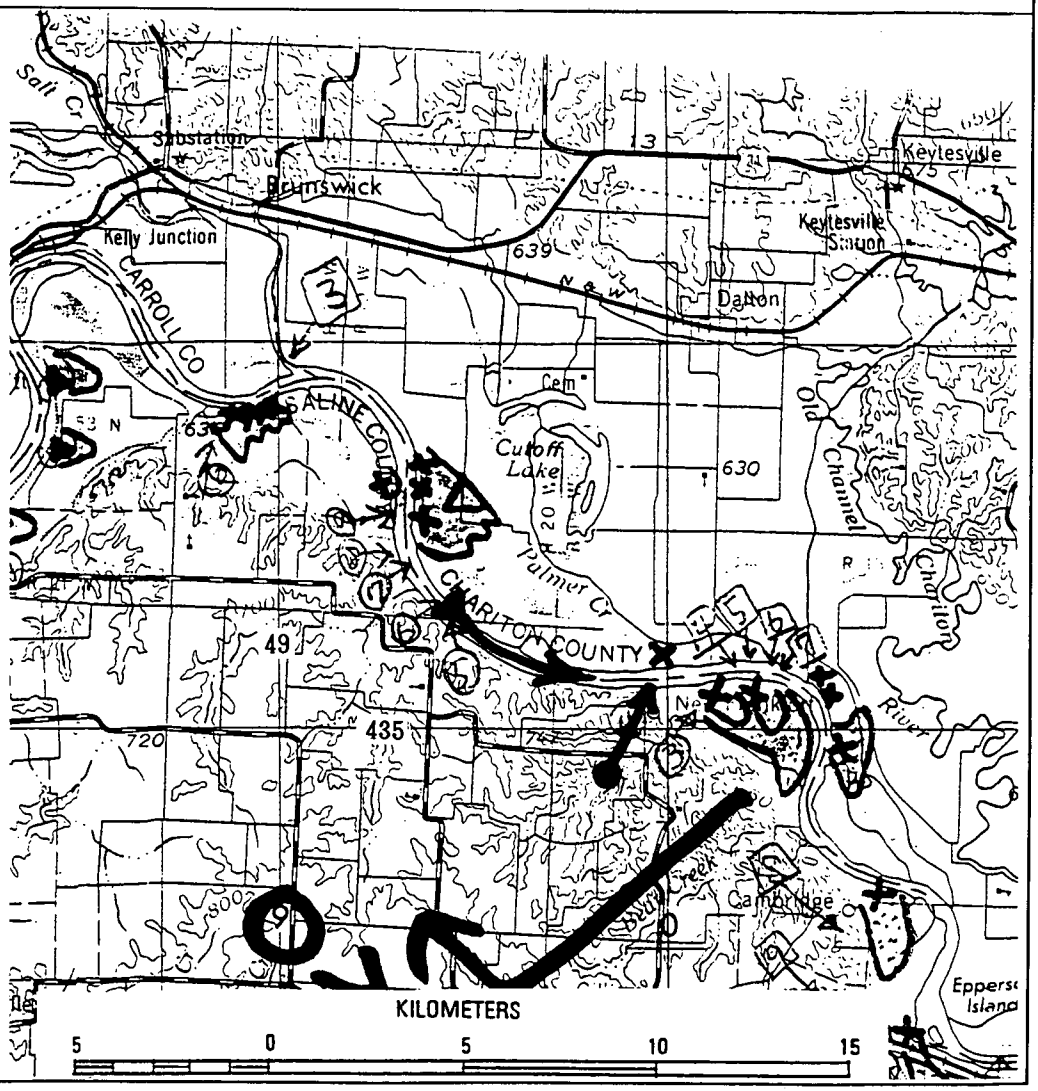
V-3 Missouri 川左岸　New Frankfort 近く

写真



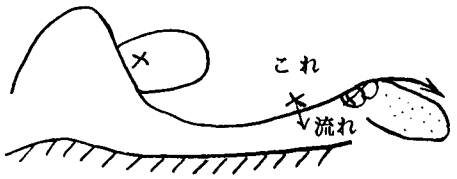
Vol. 7-4

位置図



	V-3　Missouri 川左岸　New Frankfort 近く
破堤形態	V－A，H

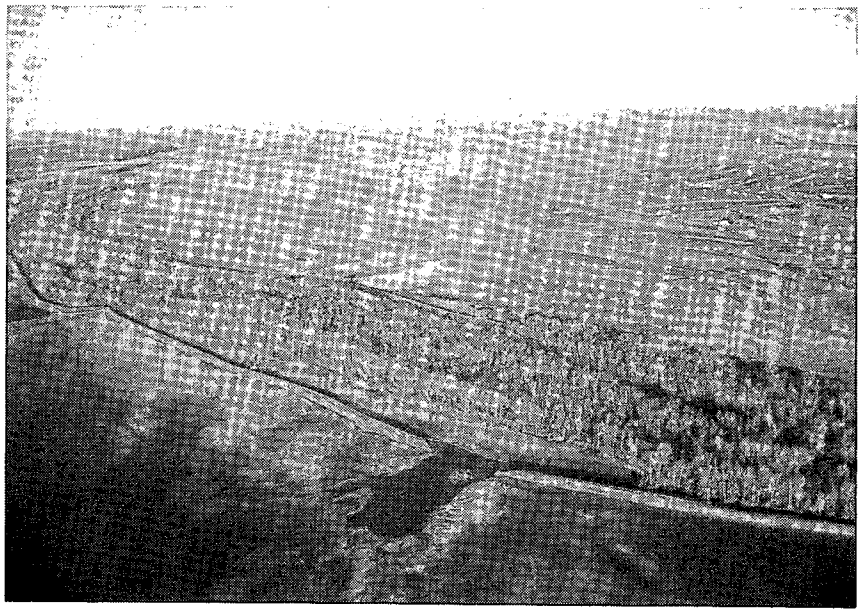
観察メモ



- 低水路幅 500m程。
- 河川側にだけ落堀的な洗掘あり。堤内地からの戻り流れによるものと推定される。

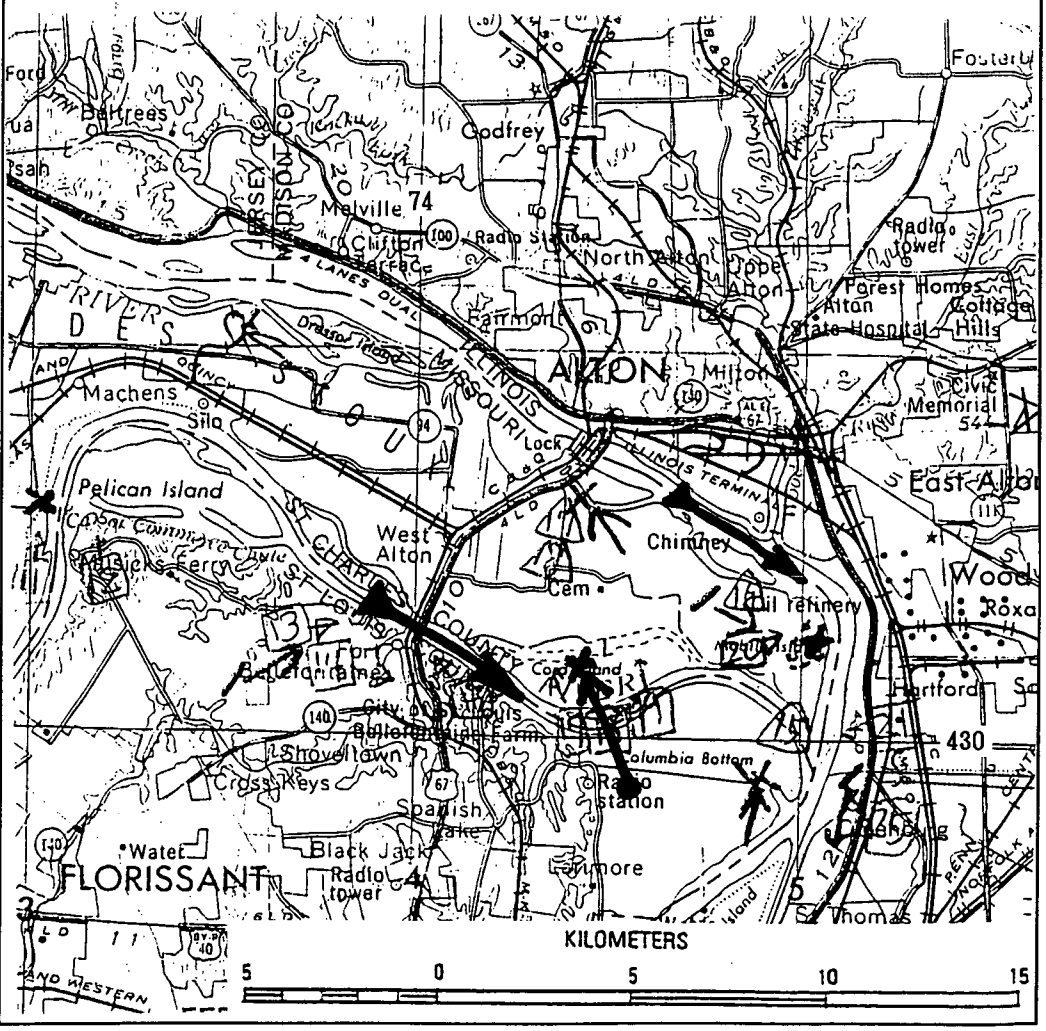
V-4　Missouri 川左岸　Mississippi 川との合流点上流 5～7km程

写真



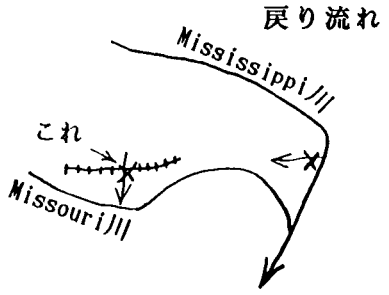
Vol.
11-18

位置図



	V-4　Missouri 川左岸　Mississippi 川との合流点上流 5～7km程
破堤形態	V－A，B，H

観察メモ



- 堤内地からの戻り流れによる破堤と考えられる。
- 堤防沿いに樹木帯がある。

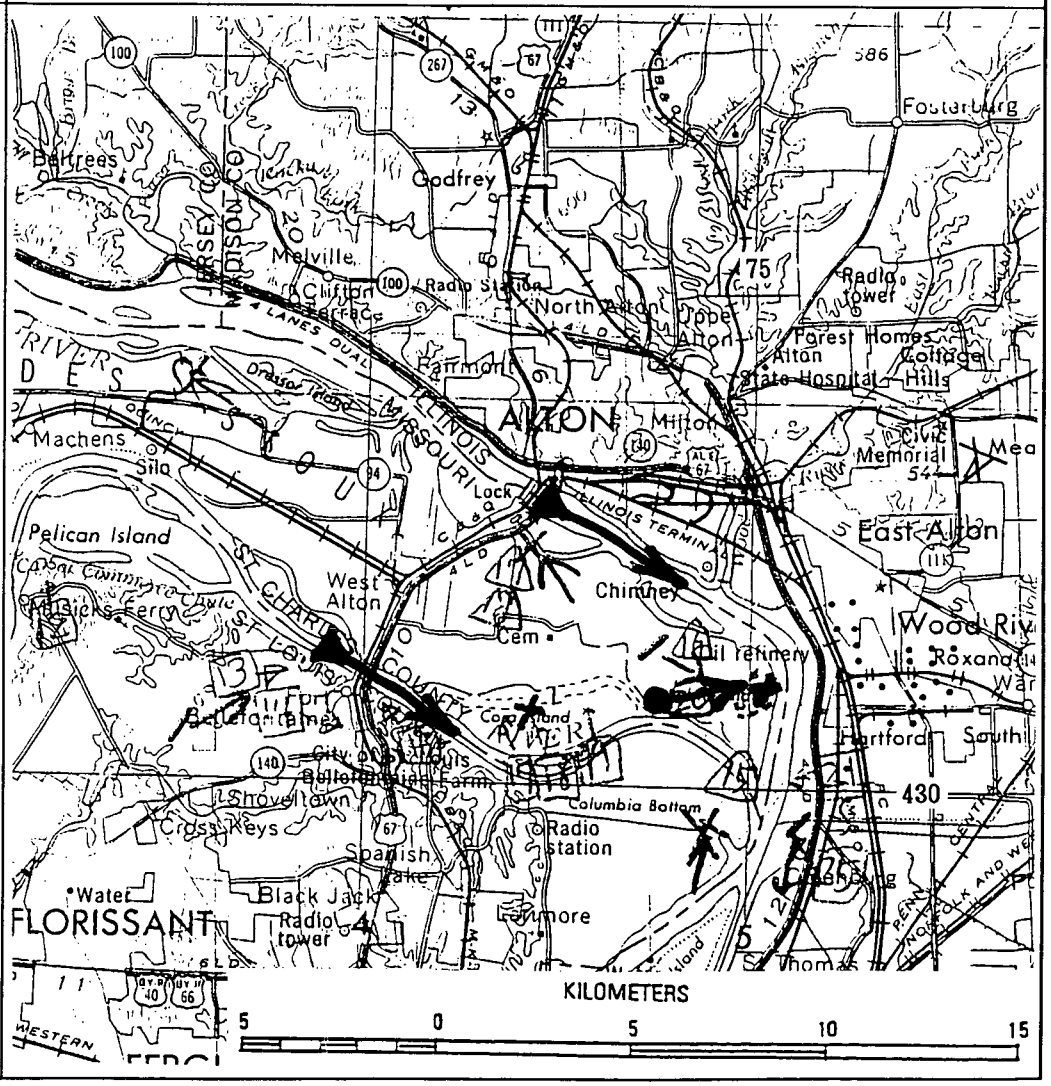
V-5 Mississippi 川右岸 Missouri 川合流点より上流 500～600m

写真



Vol.
11-20

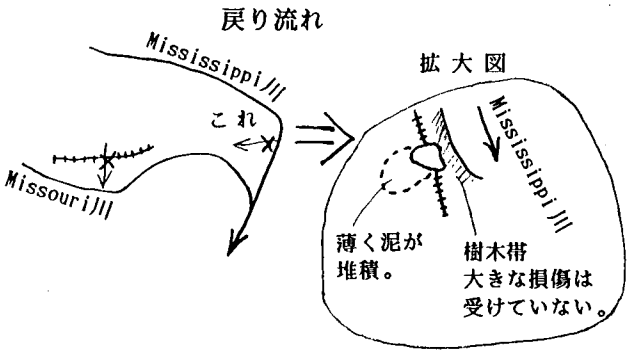
位置図



	V-5　Mississippi 川右岸　Missouri 川合流点より上流 500～600m
破堤形態	V－A，B，E

観察メモ

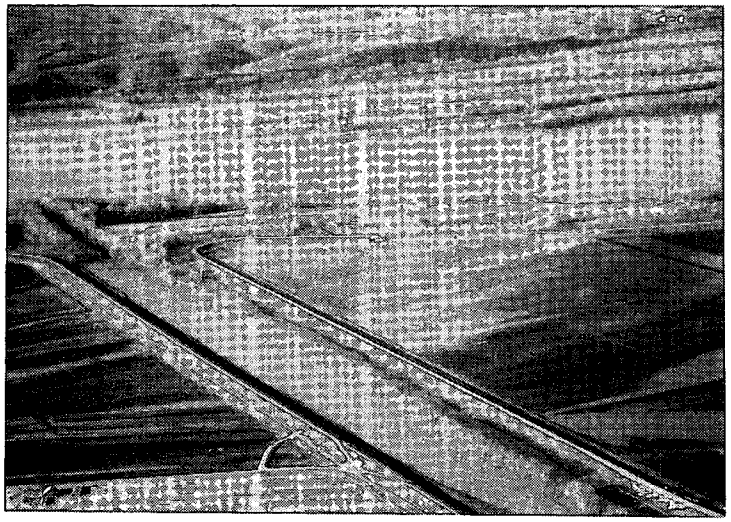
Missouri川との合流直前。



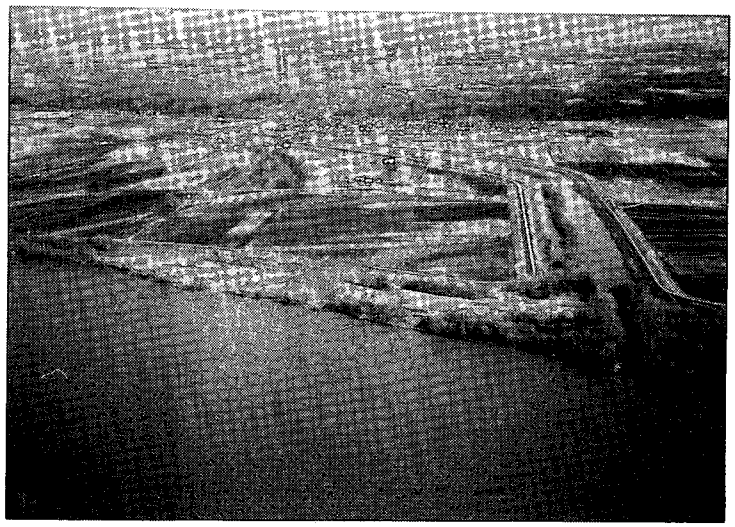
- 低水路幅 700m程。

V-6 Mississippi 川左岸　　Whitesand 近く

写真



Vol.
13-1



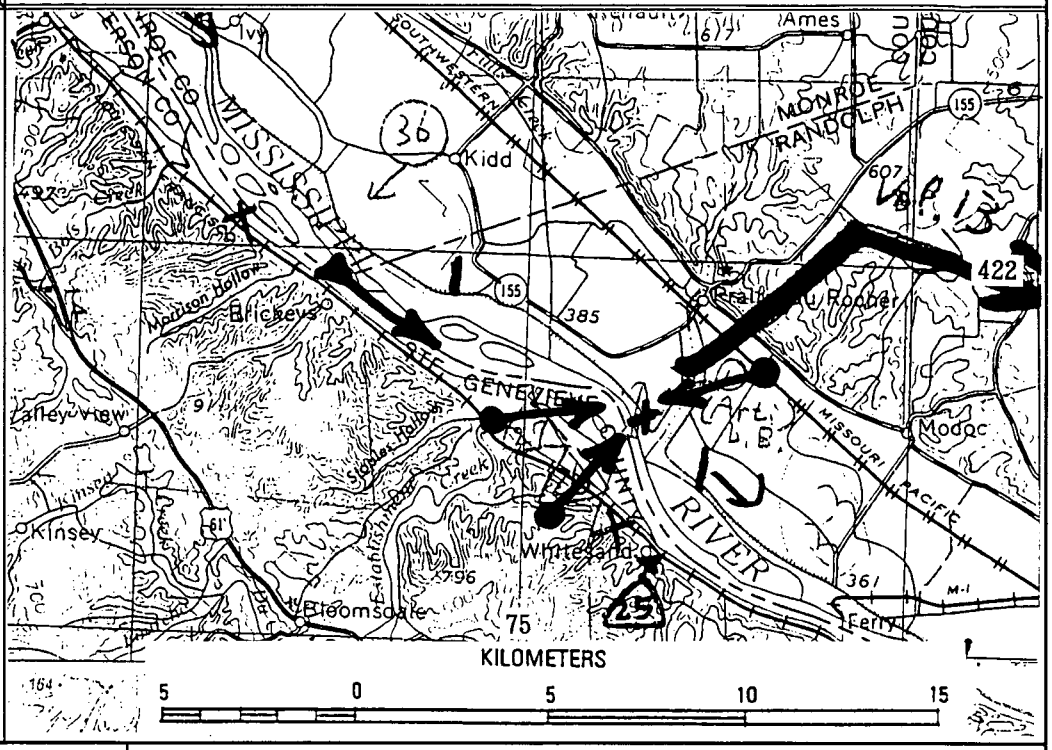
Vol.
15-26



Vol.
15-27

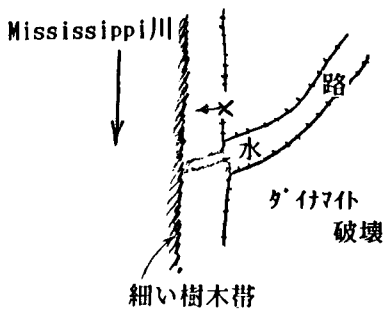
V-6 Mississippi 川左岸　　Whitesand 近く

位置図



破堤形態　V－A，B，H

観察メモ

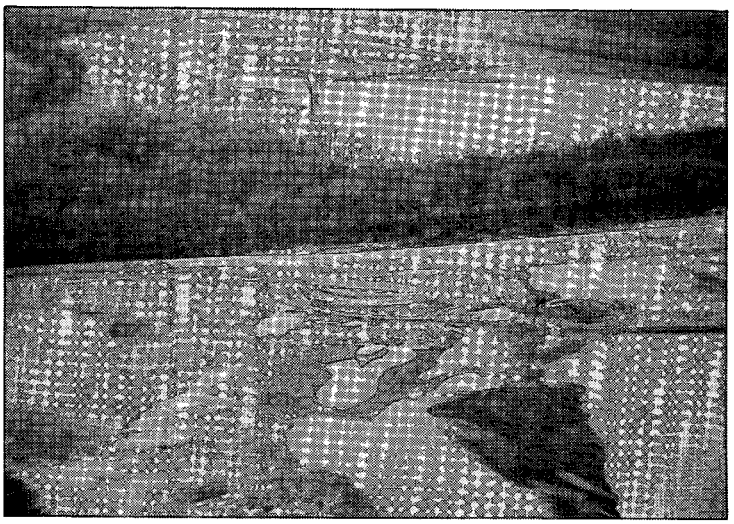


戻り流れを逃がすため人工的にダイナマイトで破壊したとのことである。

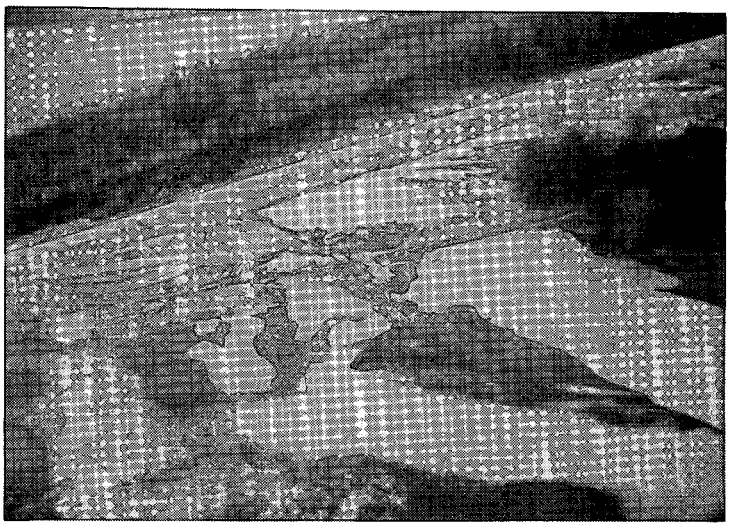
- 高水敷幅 300m程度。
- 戻り流れによる破堤。

Ⅵ-1 Missouri 川右岸 Spirit of St. Louis 空港 近く

写真



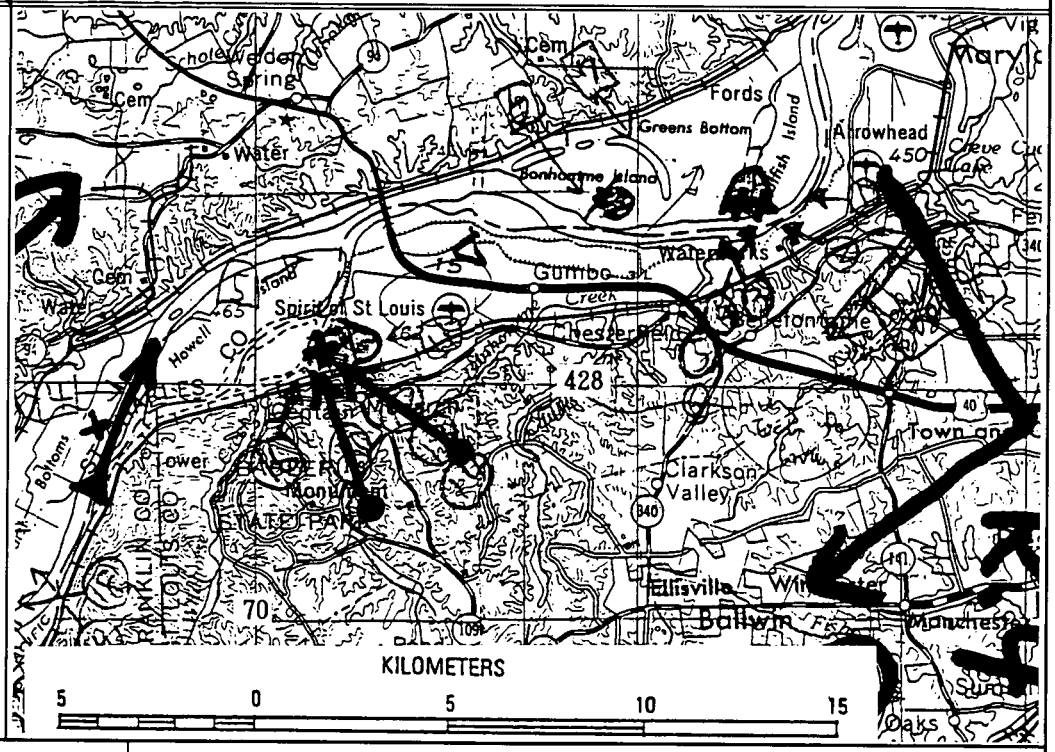
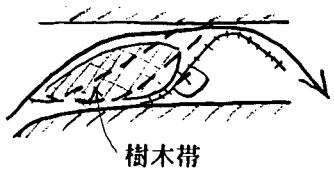
Vol.
4-12



Vol.
4-13

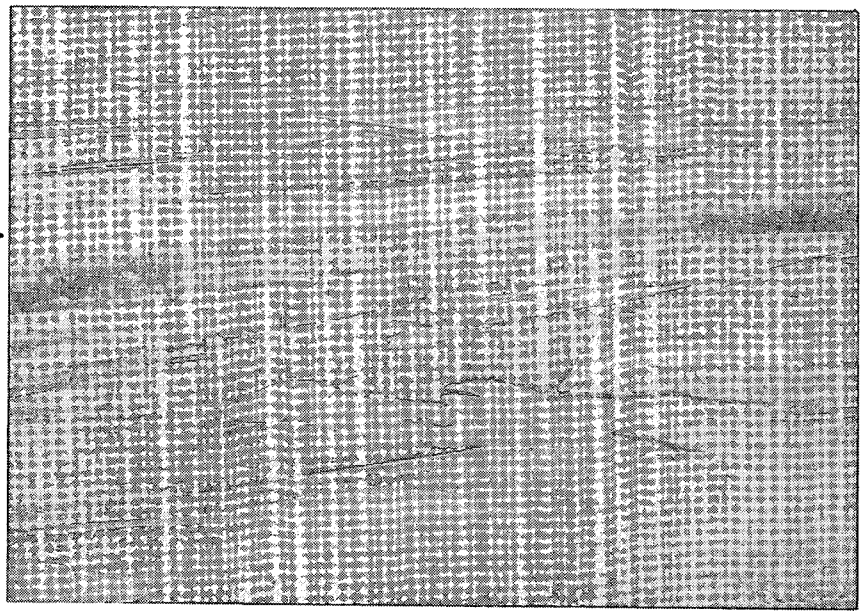


Vol.
4-15

	Ⅵ-1 Missouri 川右岸　Spirit of St. Louis 空港 近く
位置図	
破堤形態	Ⅵ－A，B，G
観察メモ	 右岸高水敷には、空港と最近建てられた工場がある。 破堤箇所はすでに復旧されている。

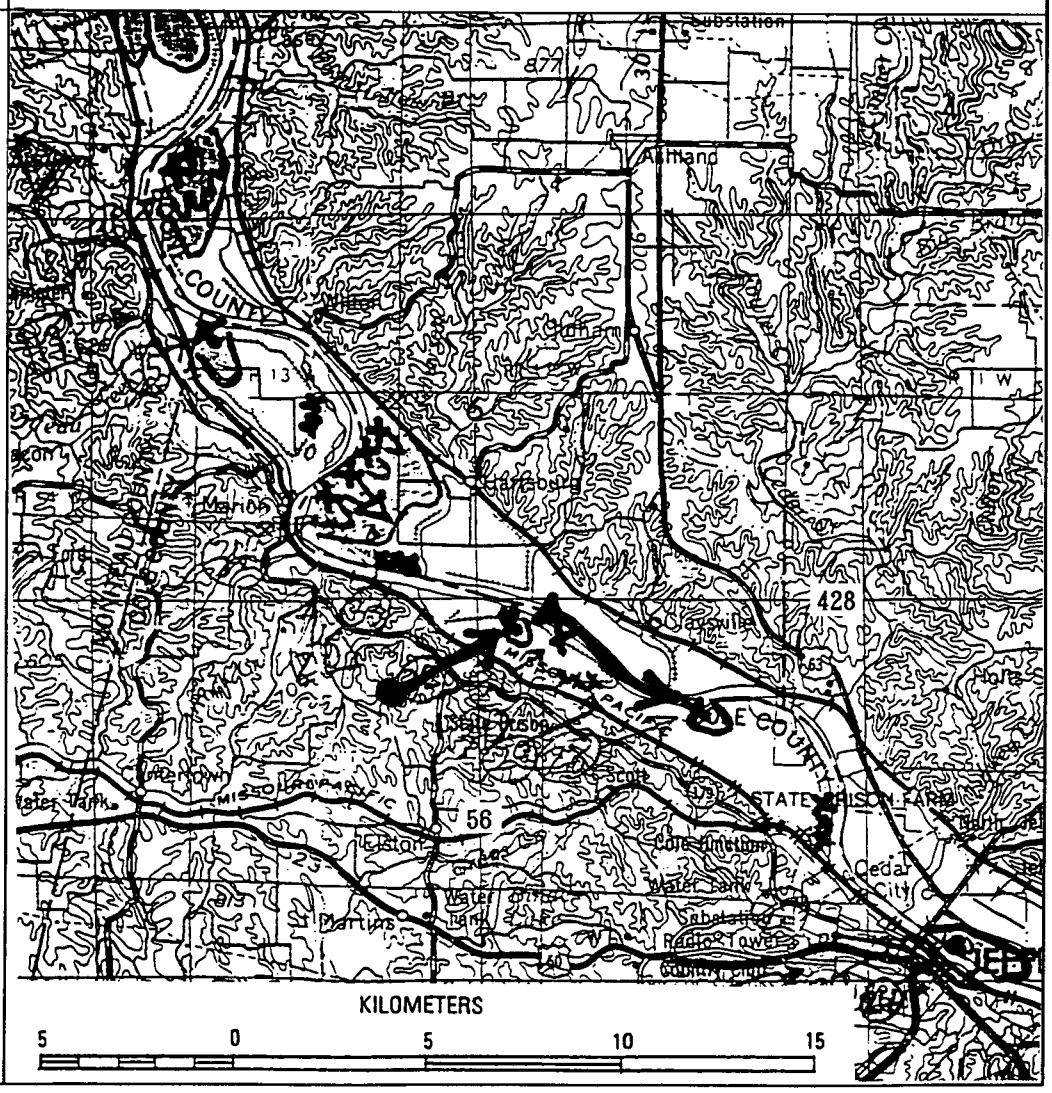
VI-2　Missouri 川右岸　　State Prison 近く

写真



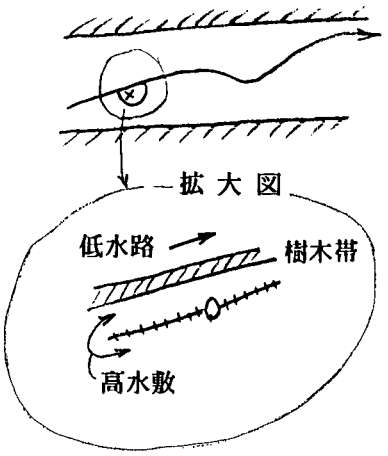
Vol.
5-32

位置図



	Ⅵ-2　Missouri 川右岸　State Prison 近く
破堤形態	Ⅵ－A，E

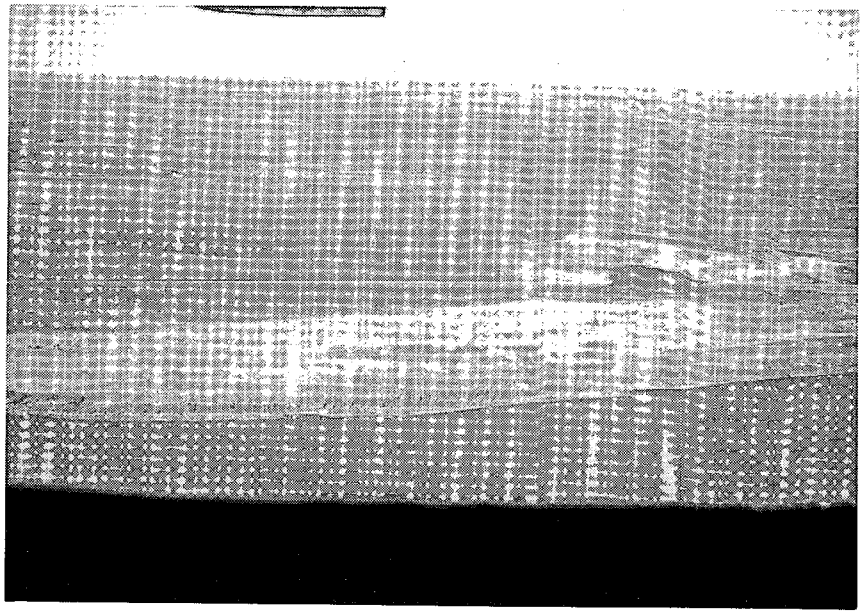
観察メモ



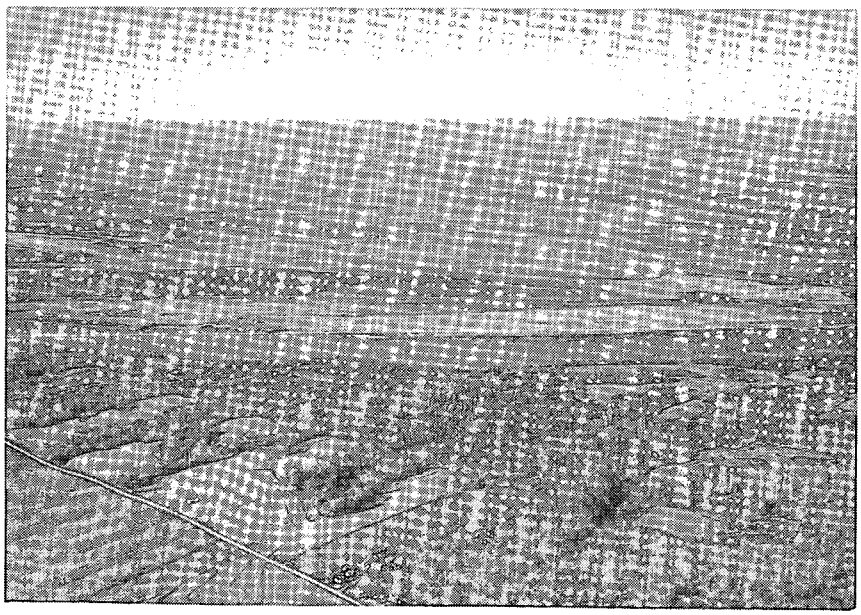
- 低水路幅　400m程。
- 高水敷幅　200m程。

Ⅵ-3 Missouri 川左岸 Lexington 空港 近く

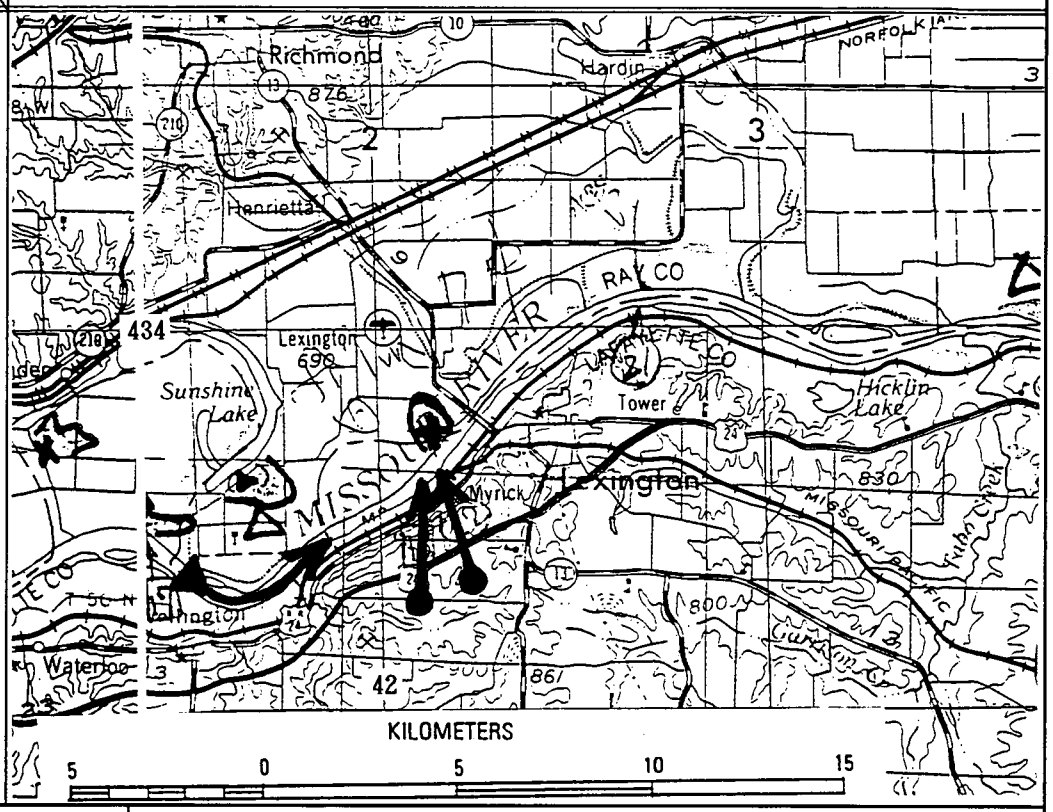
写真



Vol.
7-22

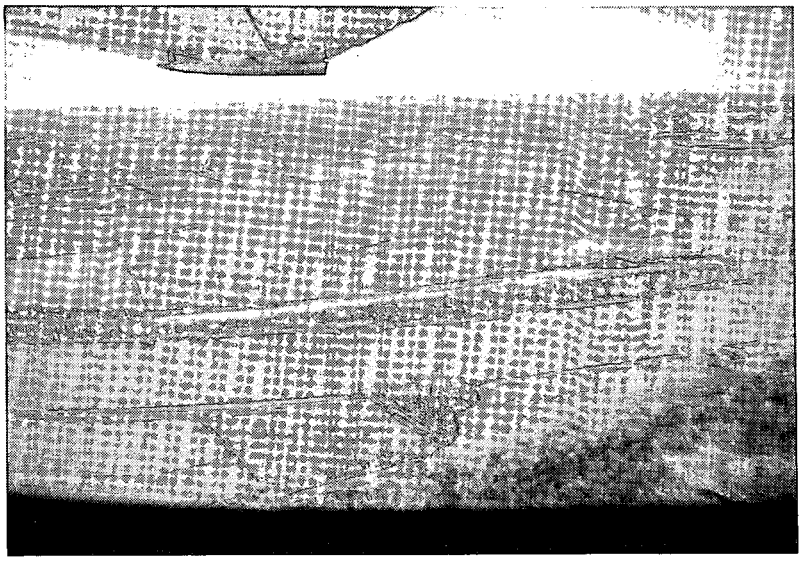


Vol.
9-18

	VI-3 Missouri 川左岸 Lexington 空港 近く
位置図	
破堤形態	VI－A，E
観察メモ	堤防と河岸との間距離あり。  • 低水路幅 400m程。

VI-4 Missouri 川左岸 Kansas City の上流側 Pomeroy 近く

写真



Vol.
8-1

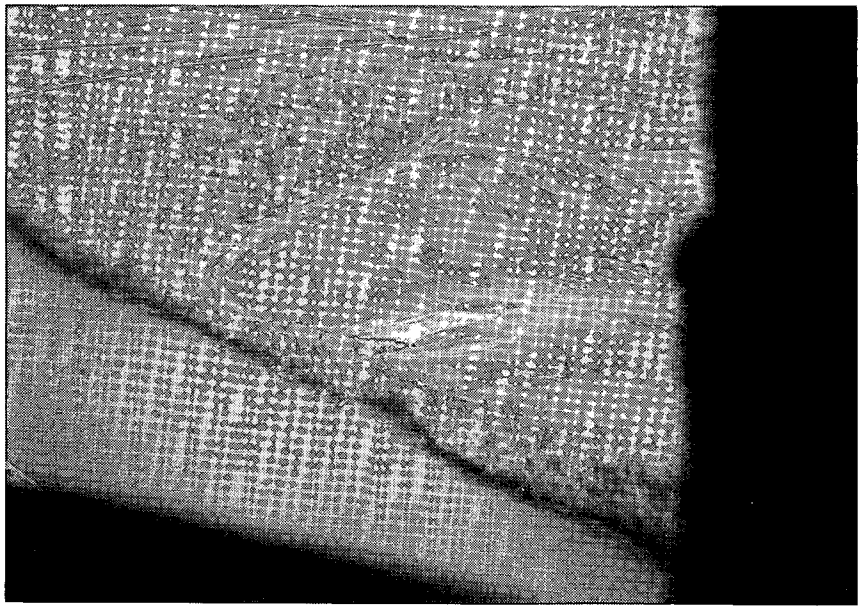
位置図



	Ⅵ-4　Missouri 川左岸　Kansas City の上流側　Pomeroy 近く
破堤形態	Ⅵ－A，B，E
観察メモ	 樹木帯 • 低水路幅 300m程。 • 高水敷幅 200m程。

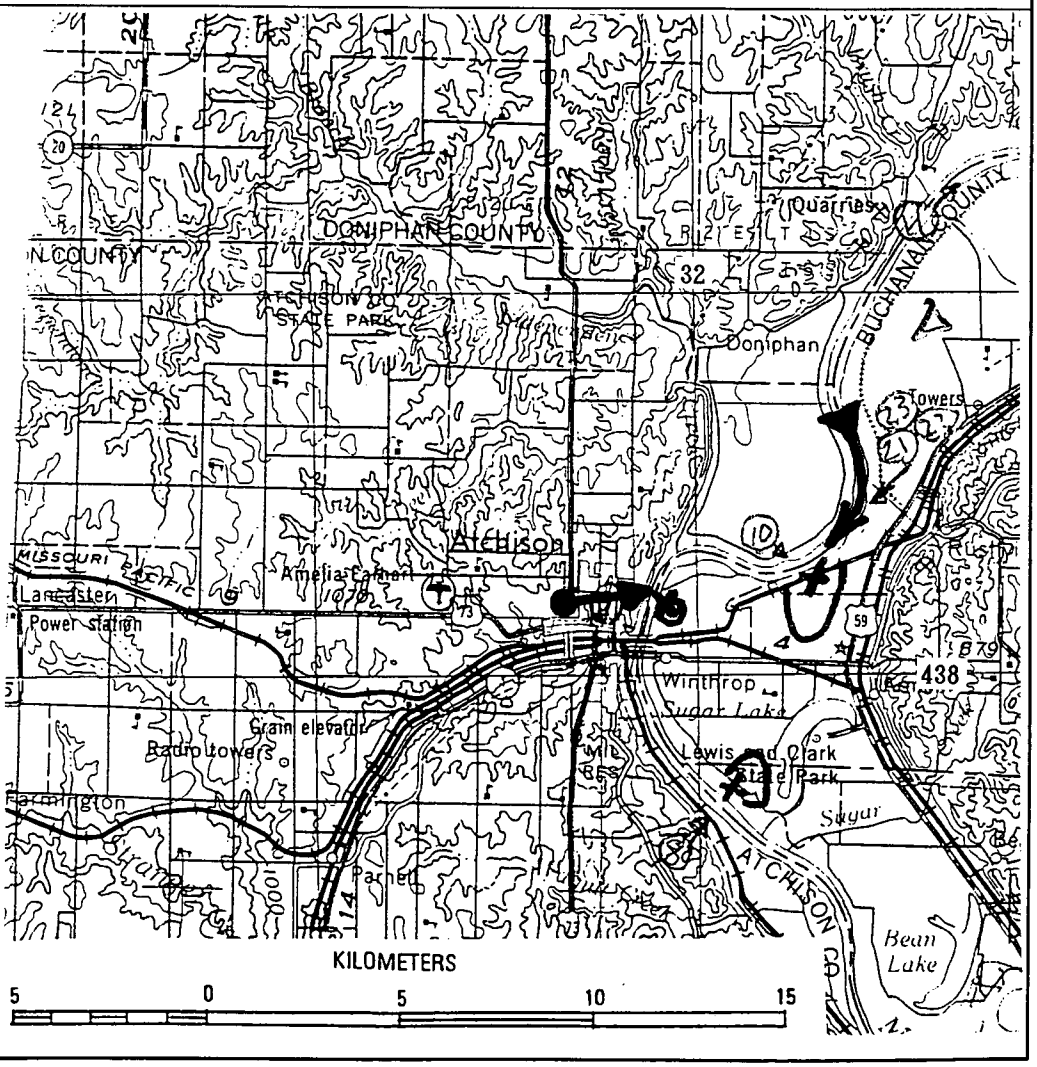
Ⅵ-5 Missouri 川左岸 Atchison 空港 近く

写真



Vol.
8-9

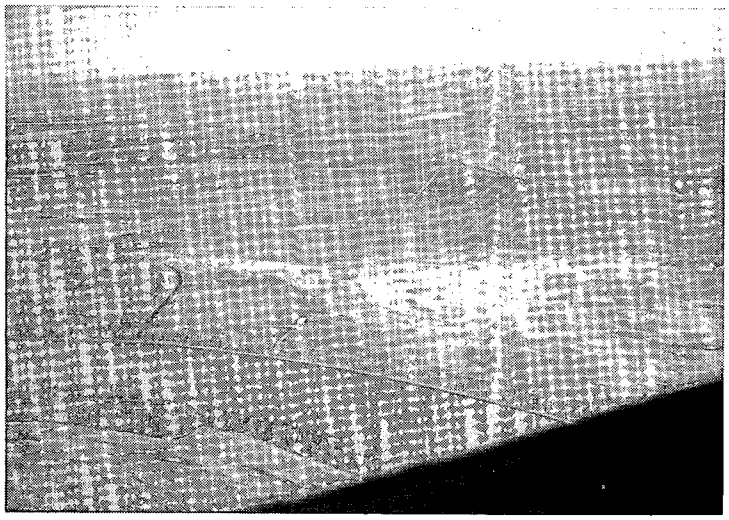
位置図



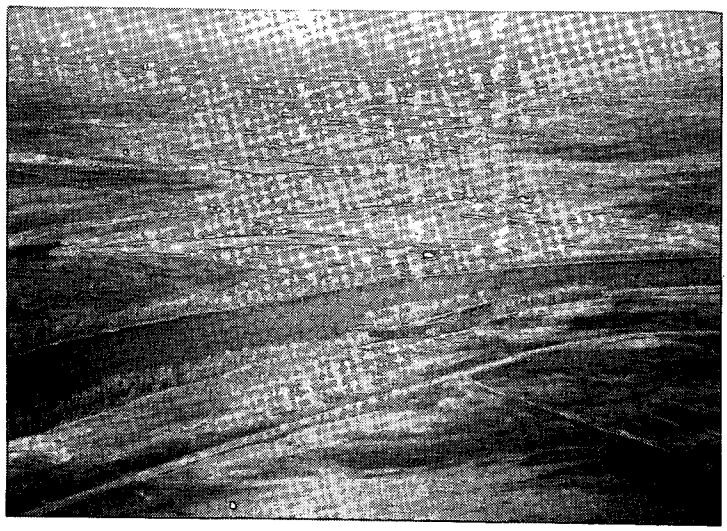
	VI-5　Missouri 川左岸　Atchison 空港 近く
破堤形態	VI－E
観察メモ	小破堤。  堤防沿いに程々の樹木帯あり。 但し薄いので形態Bに不該当とする。 • 低水路幅 200m 程度。

Ⅵ-6 Missouri 川左岸 Baltimore Island の下流

写真



Vol.
9-20



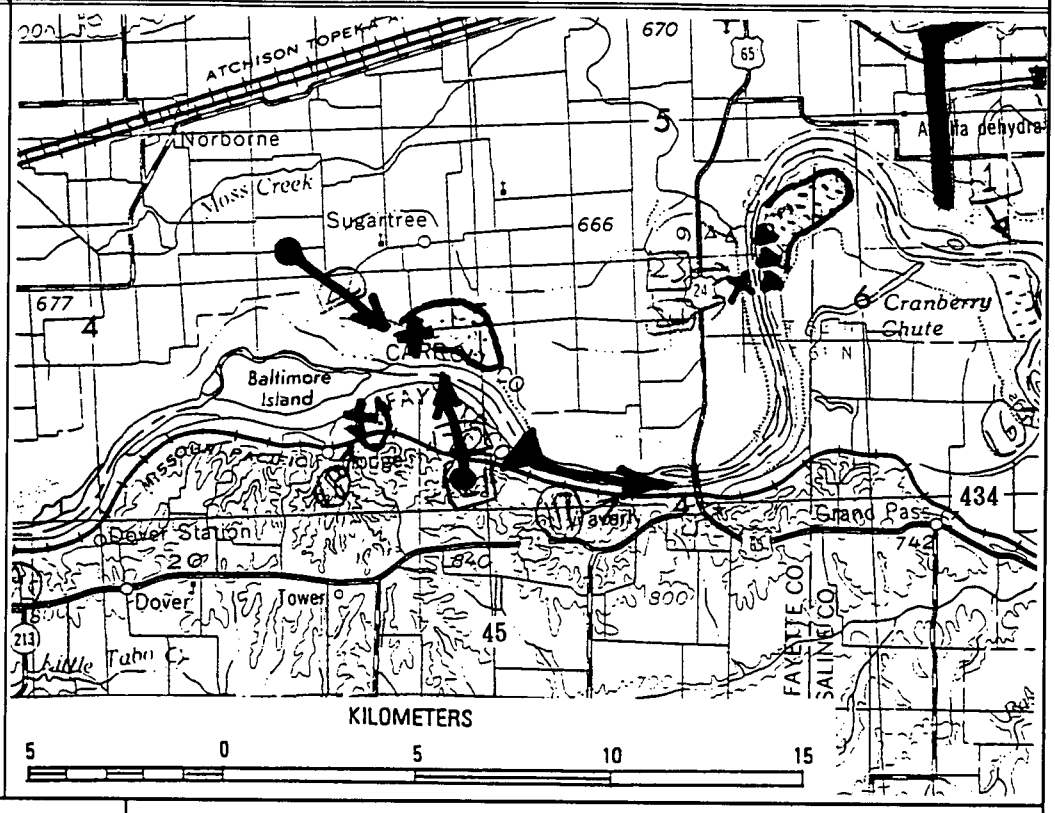
Vol.
9-21



Vol.
9-22

Ⅵ-6　Missouri 川左岸　Baltimore Island の下流

位置図



破堤形態	Ⅵ－A，C，F

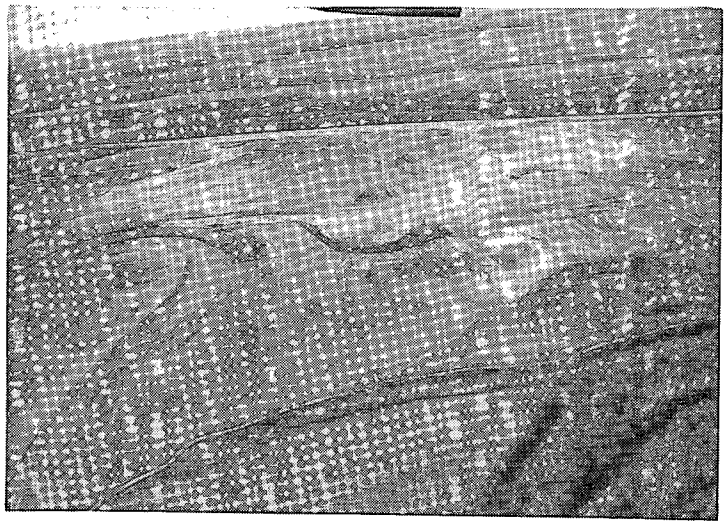
観察メモ



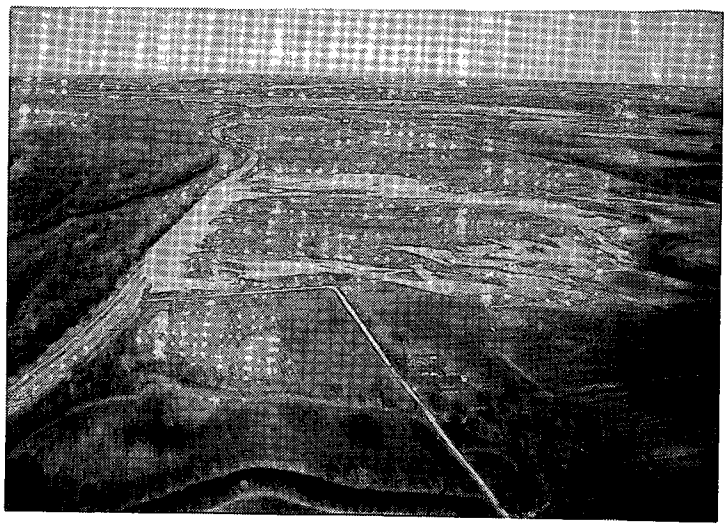
- 氾濫流向が洗掘痕に見える。

Ⅵ－７　Mississippi 川左岸　The Sny Pigeon Creek 近く

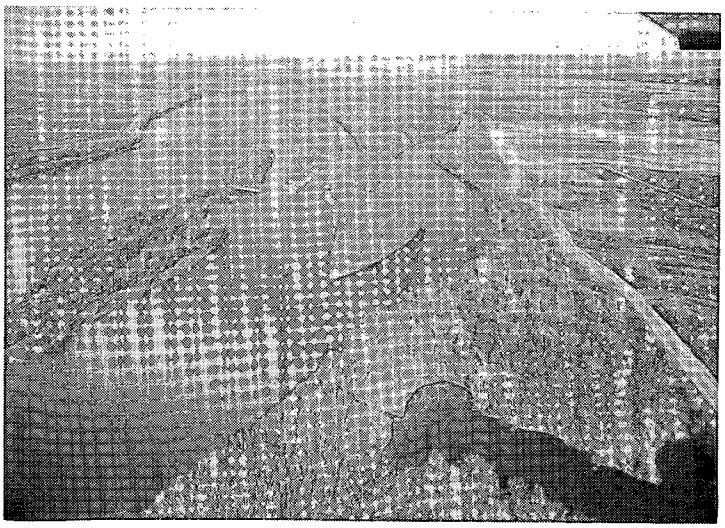
写真



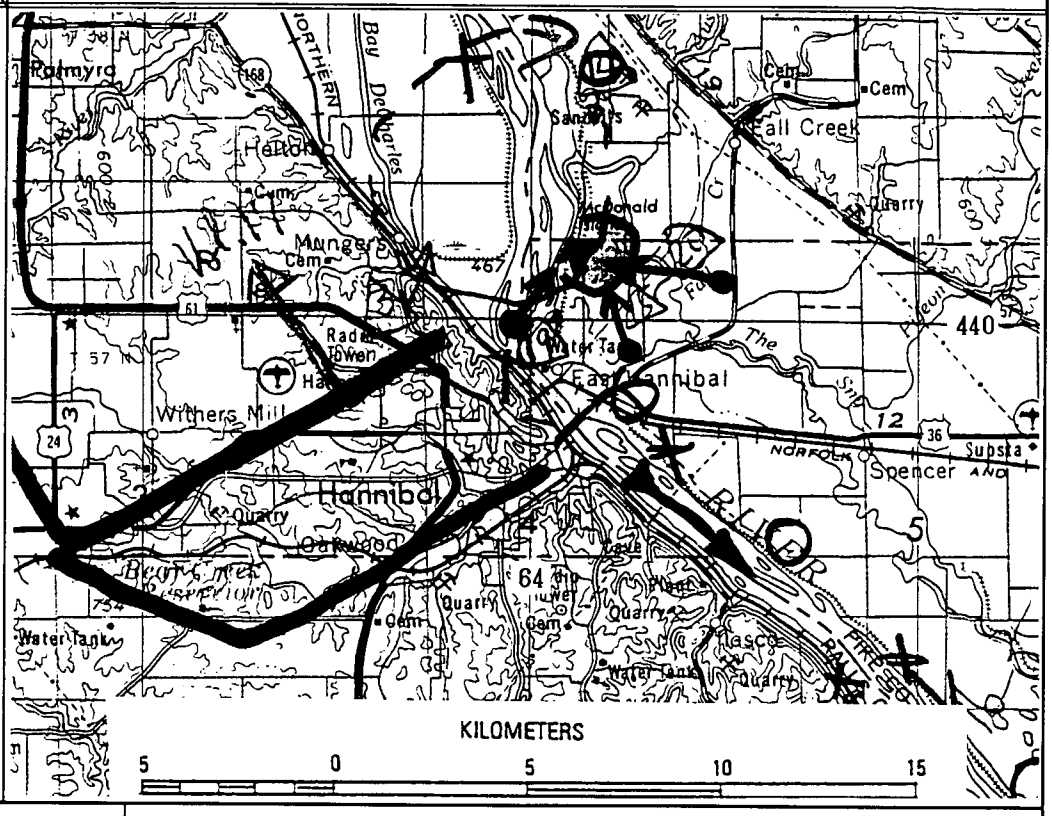
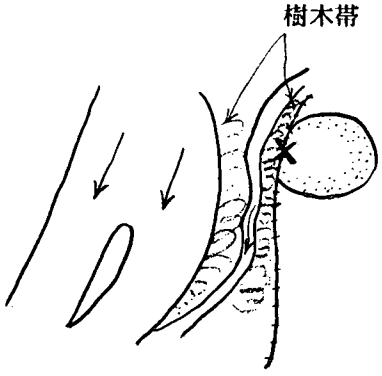
Vol.
17-15



Vol.
17-18

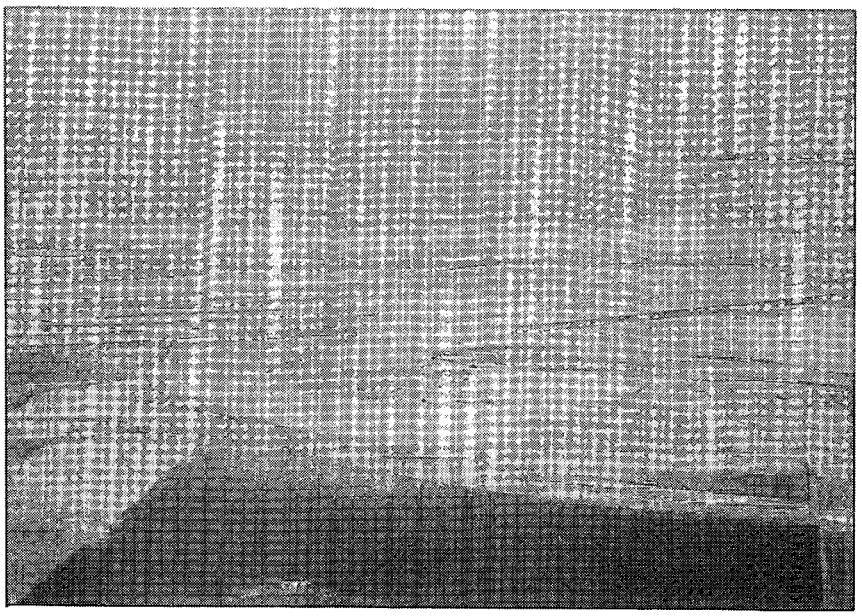


Vol.
17-19

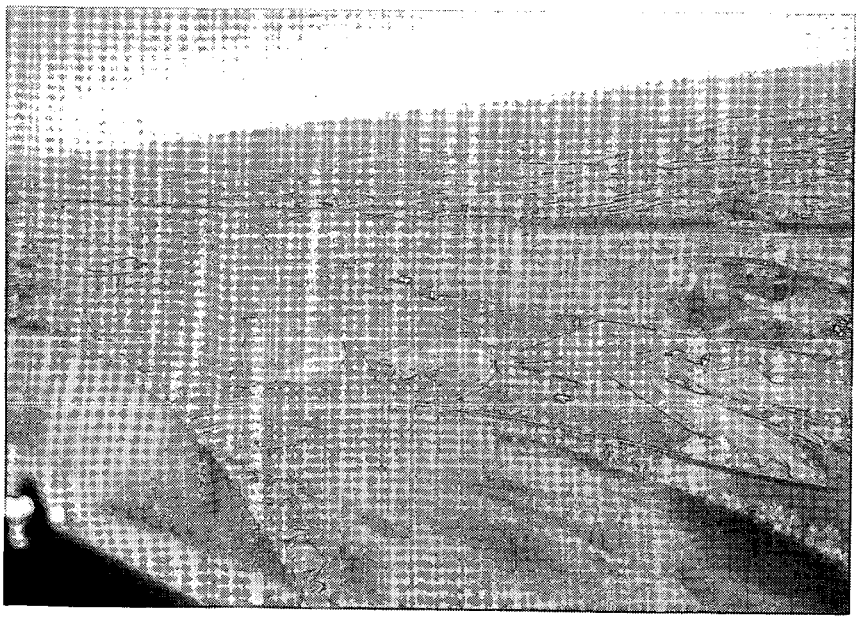
	Ⅵ－7　Mississippi 川左岸　The Sny Pigeon Creek 近く
位置図	
破堤形態	Ⅵ－A，B，F
観察メモ	破堤箇所は補修済み。 落堀も埋めたように見える。 

写真

Ⅶ－1　Missouri 川右岸　　Morrison と Chamois の中間

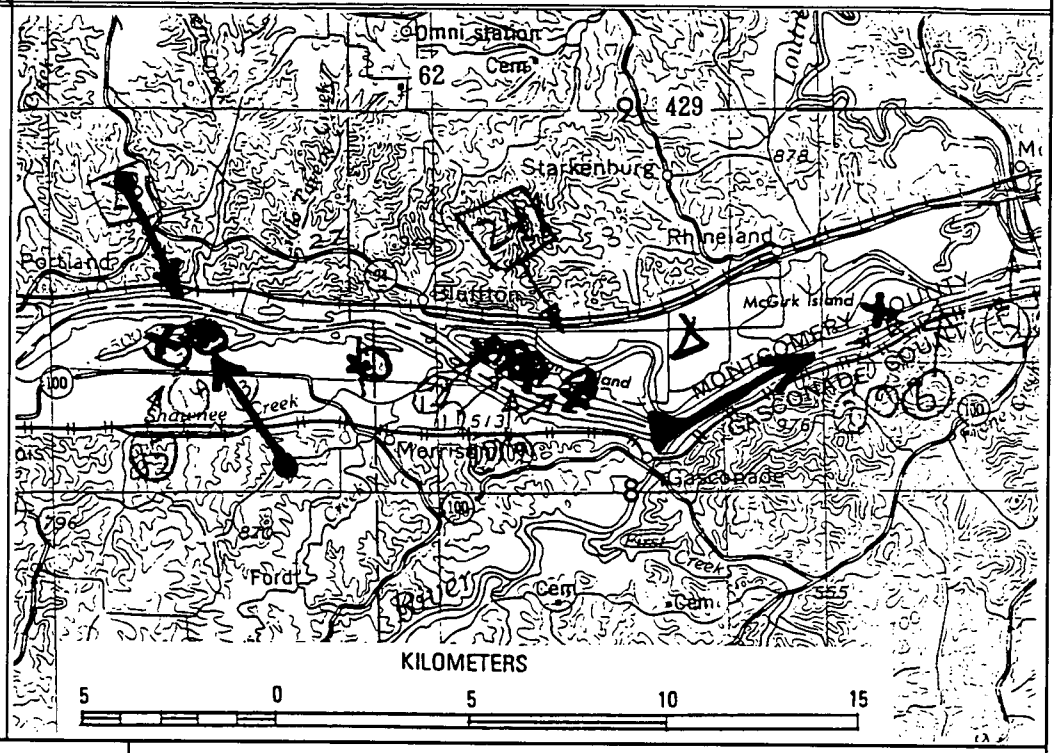


Vol.
5-13



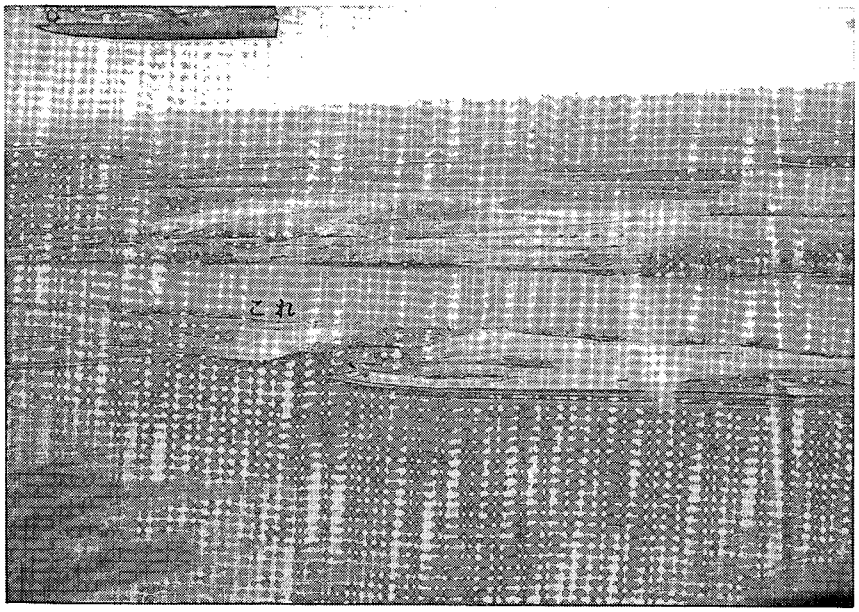
Vol.
10-23

Missouri 川

	Ⅶ－1　Missouri 川右岸　　Morrison と Chamois の中間
位置図	
破堤形態	Ⅶ－A，E
観察メモ	 • Missouri 川に流入する小水路沿いの堤防。 • ２箇所破堤している。

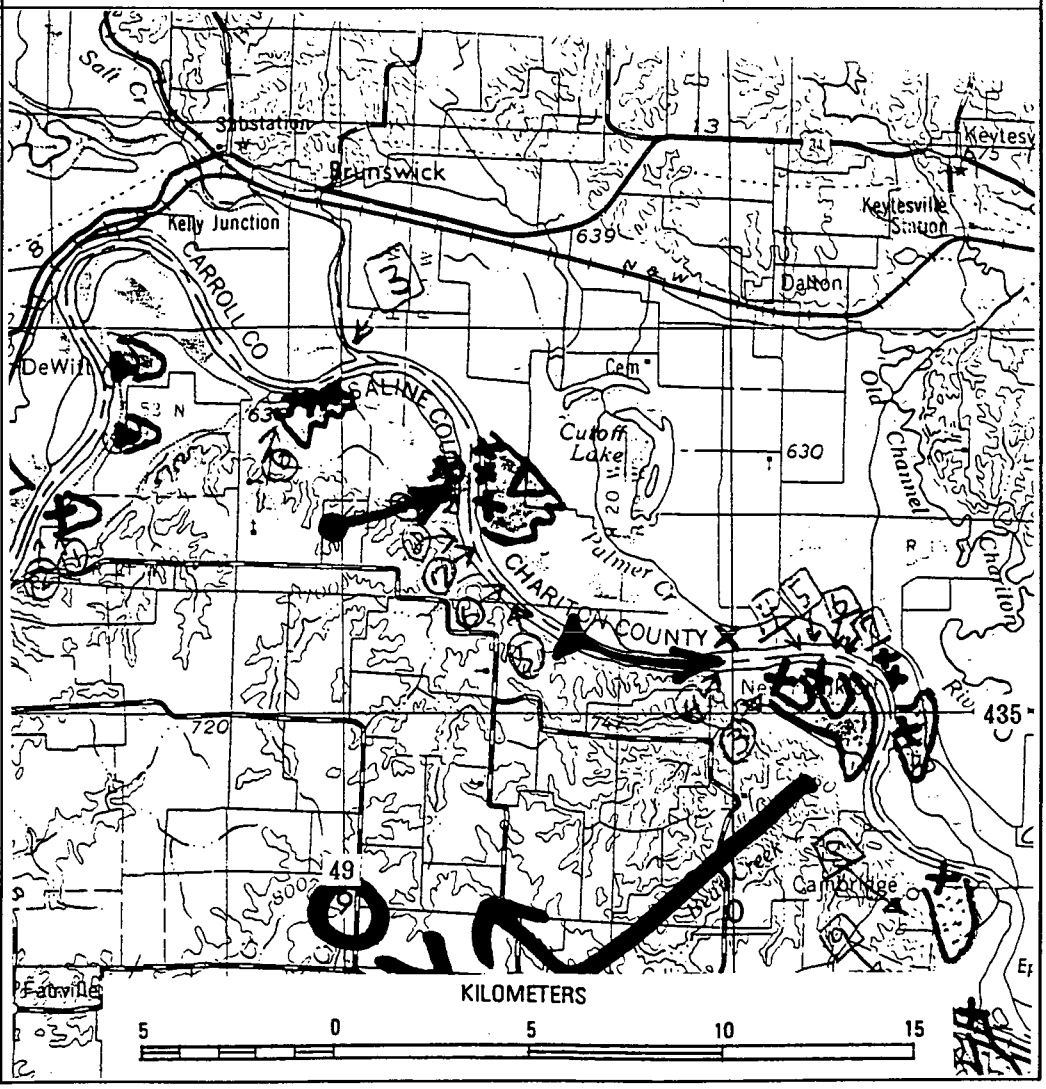
Ⅶ-2　Missouri 川右岸　Salt Cr. 合流点より 5km 程下流

写真



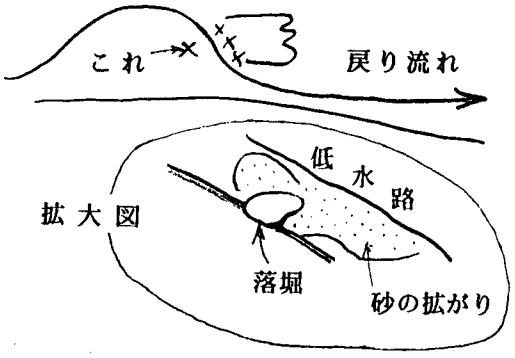
Vol.
7-9

位置図



	Ⅶ-2　Missouri 川右岸　Salt Cr. 合流点より 5km 程下流
破堤形態	Ⅶ－A，H

観察メモ



- 低水路幅 約500m。
- 明らかに戻り流れによるもの。

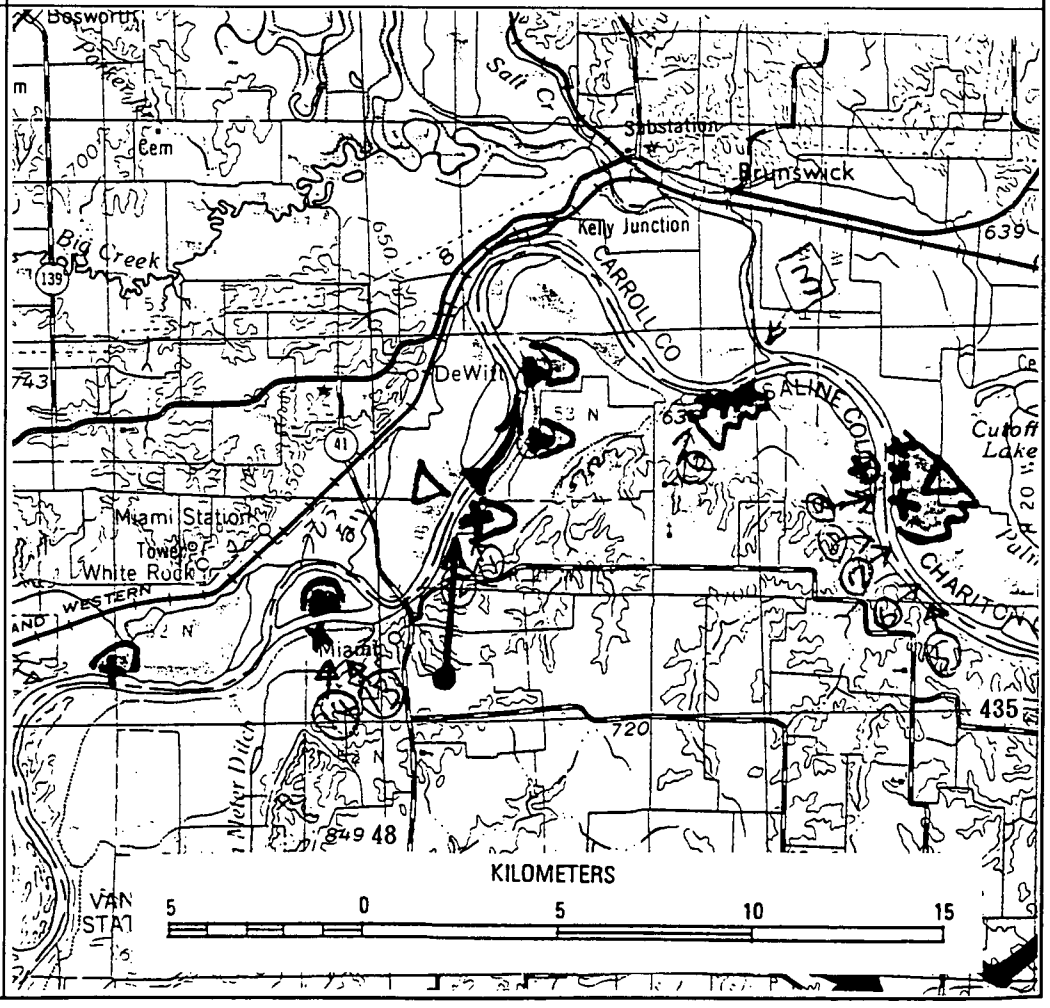
Ⅶ-3　Missouri 川右岸　Miami から7km程下流側

写真



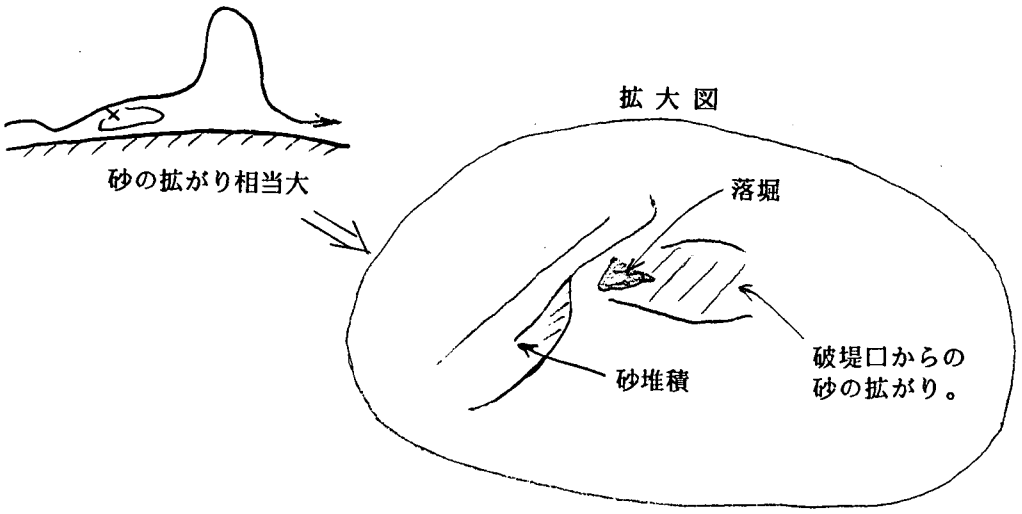
Vol.
7-12

位置図



	Ⅶ-3　Missouri 川右岸　Miami から7km程下流側
破堤形態	Ⅶ－A，E

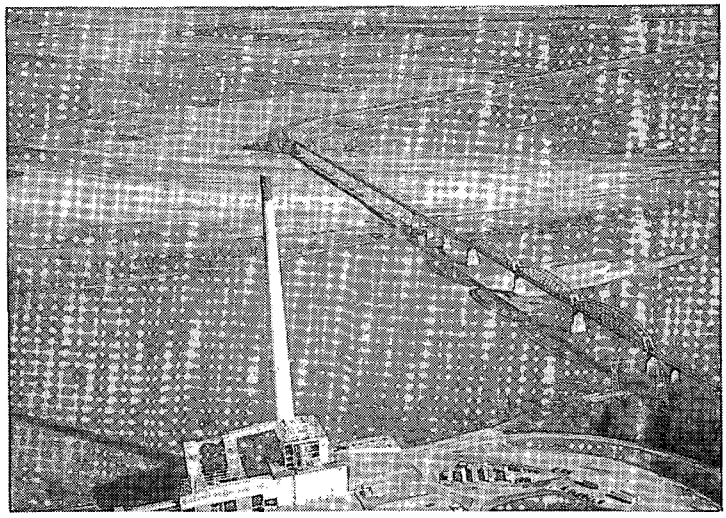
観察メモ



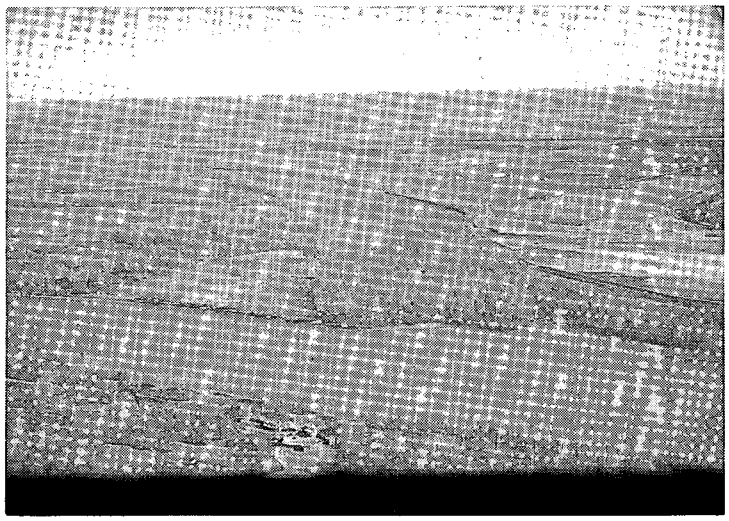
- 低水路幅　約300m。
- 高水敷幅　2～300m。
- 河岸に線状の灌木あり。

Ⅶ-4 Missouri 川右岸　Fort Osage 近く

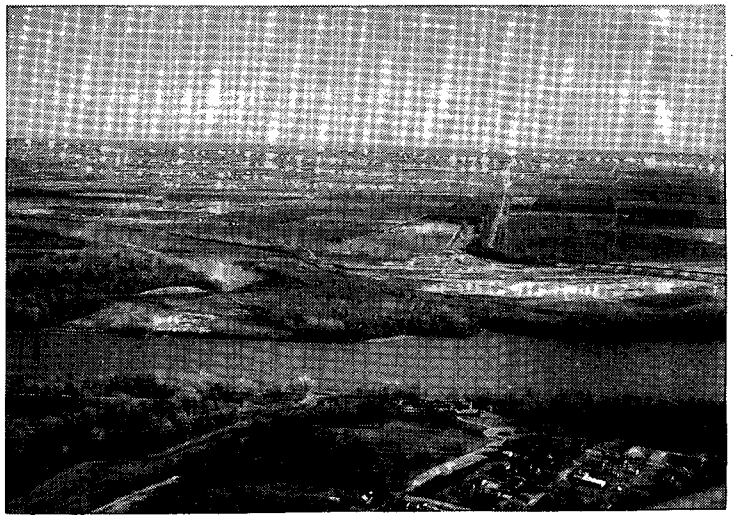
写真



Vol. 7-26



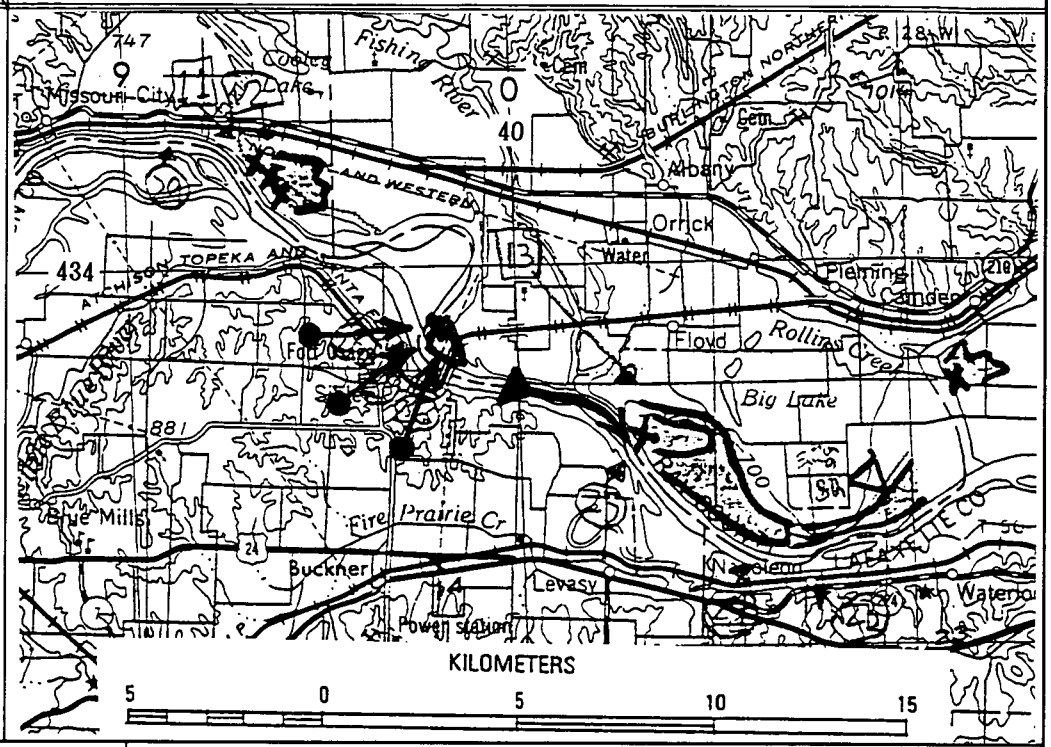
Vol. 7-27



Vol. 7-28

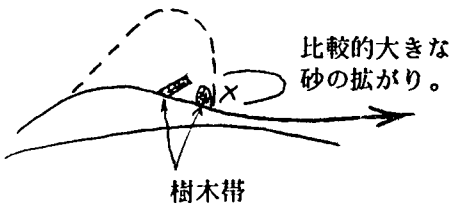
Ⅶ-4 Missouri 川右岸　Fort Osage 近く

位置図



破堤形態　Ⅶ－A，B，E

観察メモ



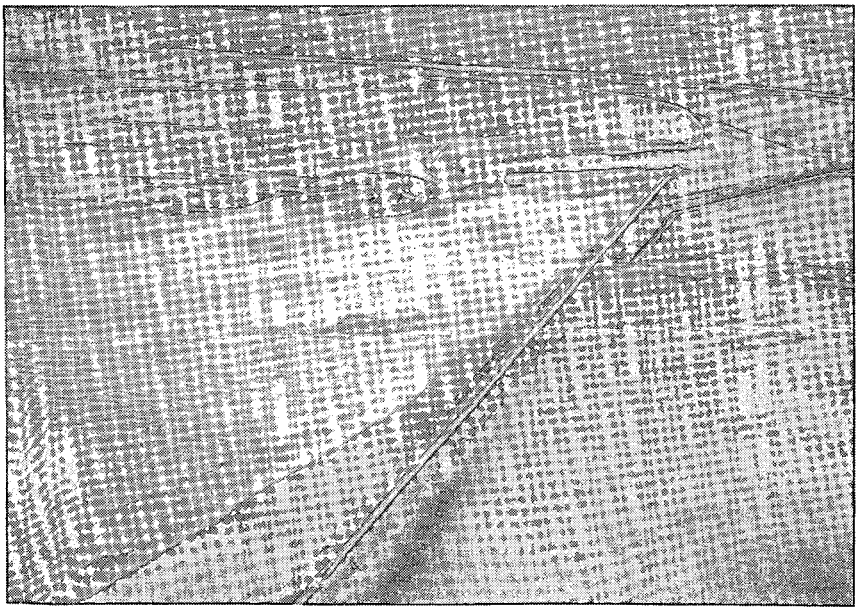
- 旧川の出口を樹木の生えた砂州が塞いでいる形。
- 低水路幅　約500m。

Ⅶ-5　Missouri 川右岸　Saint Joseph の直上流

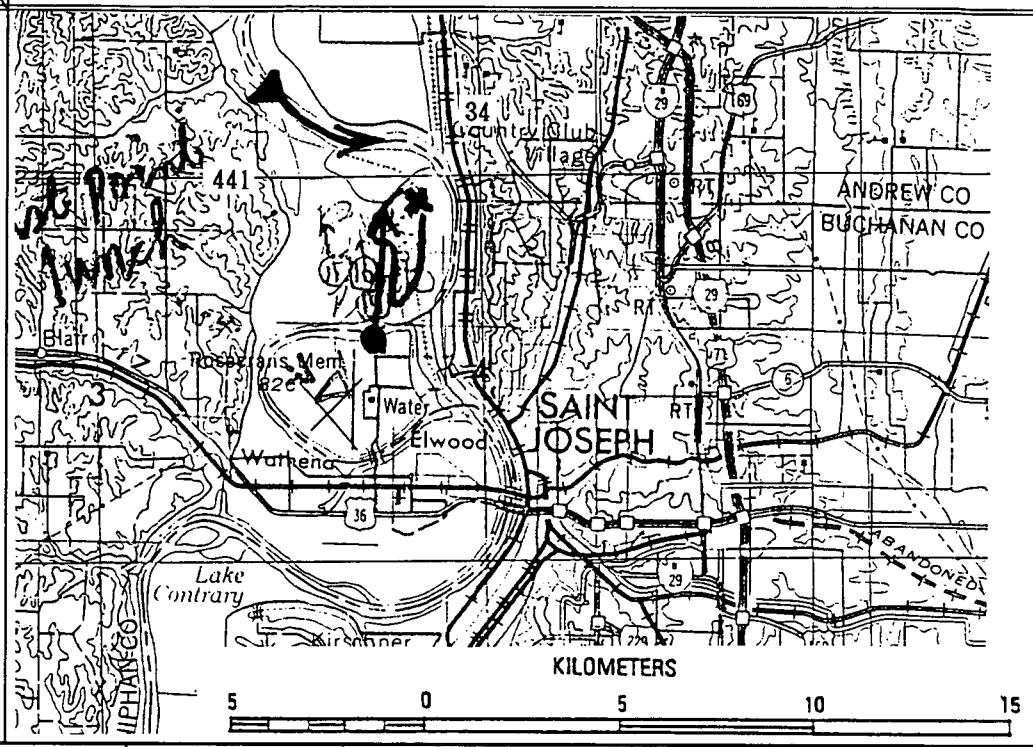
写真



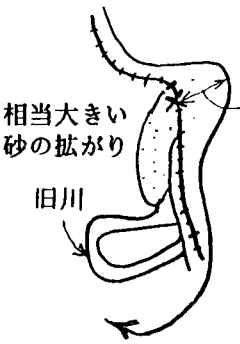
Vol.
8-16

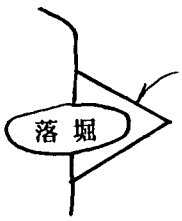


Vol.
8-17

	Ⅶ-5　Missouri 川右岸　Saint Joseph の直上流
位置図	
破堤形態	Ⅶ－A，E

観察メモ





- 砂拡がり領域に砂堆らしきもの見える。
- 低水路幅　約300m。
- 高水敷幅　7～800m。

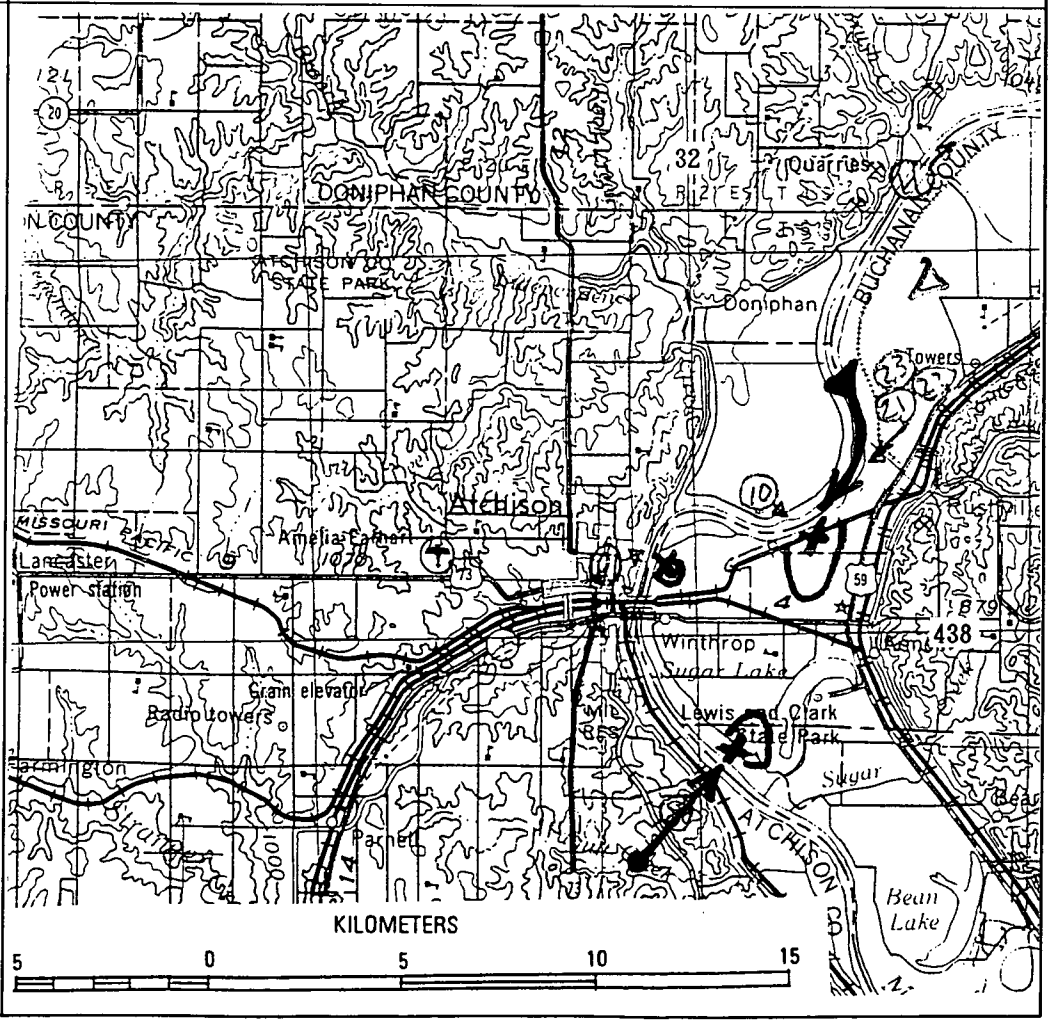
Ⅶ-6 Missouri 川左岸　Sugar Lake のわき

写真



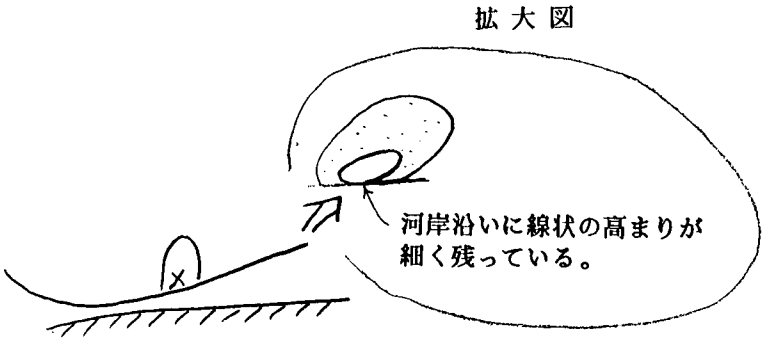
Vol.
8-8

位置図



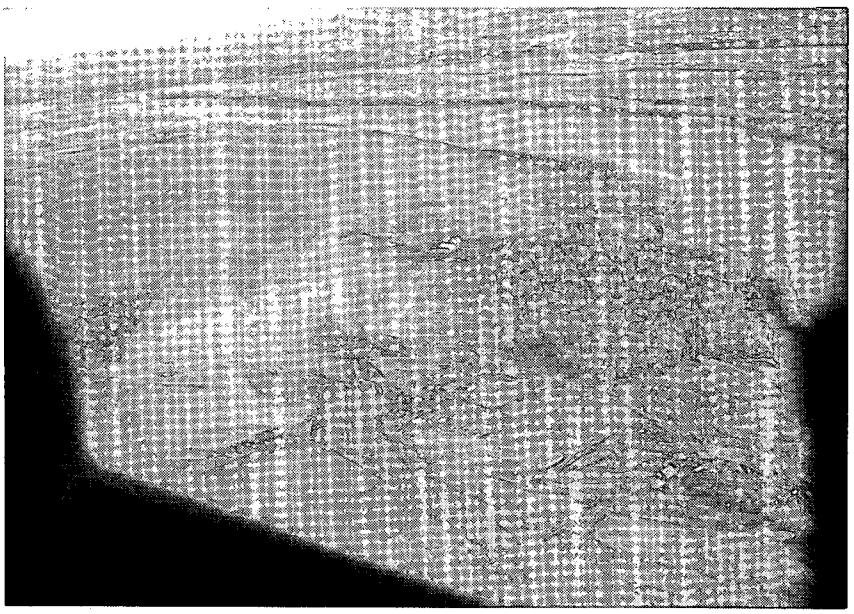
	Ⅶ-6 Missouri 川左岸　Sugar Lake のわき
破堤形態	Ⅶ－E

観察メモ



Ⅶ-7　Missouri 川左岸　Bonhomme Island

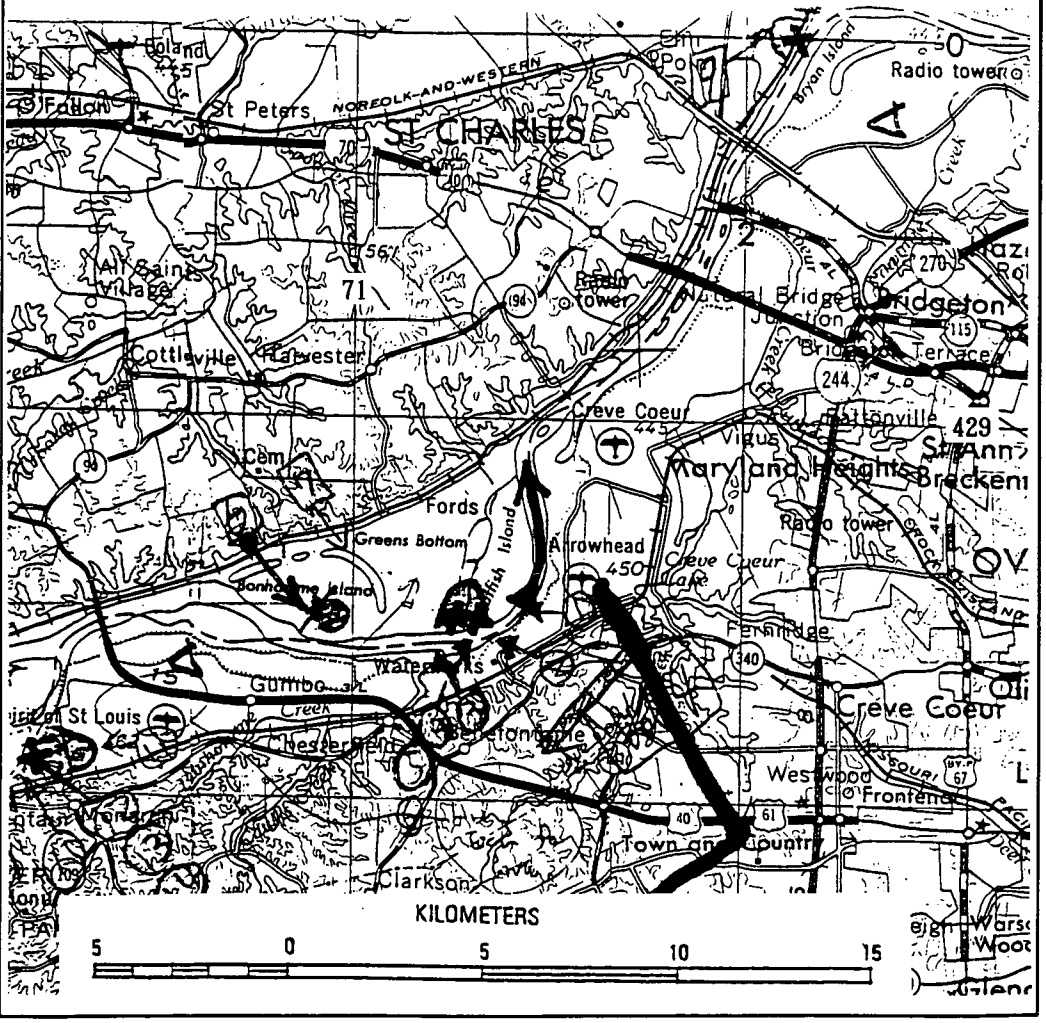
写真



←流向

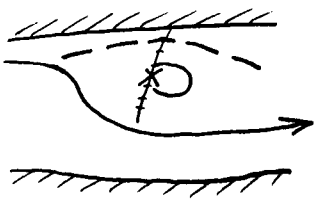
Vol.
11-6

位置図



	Ⅶ-7　Missouri 川左岸　Bonhomme Island
破堤形態	Ⅶ－A，D、I

観察メモ



堤内地の盛土道路の侵食か？

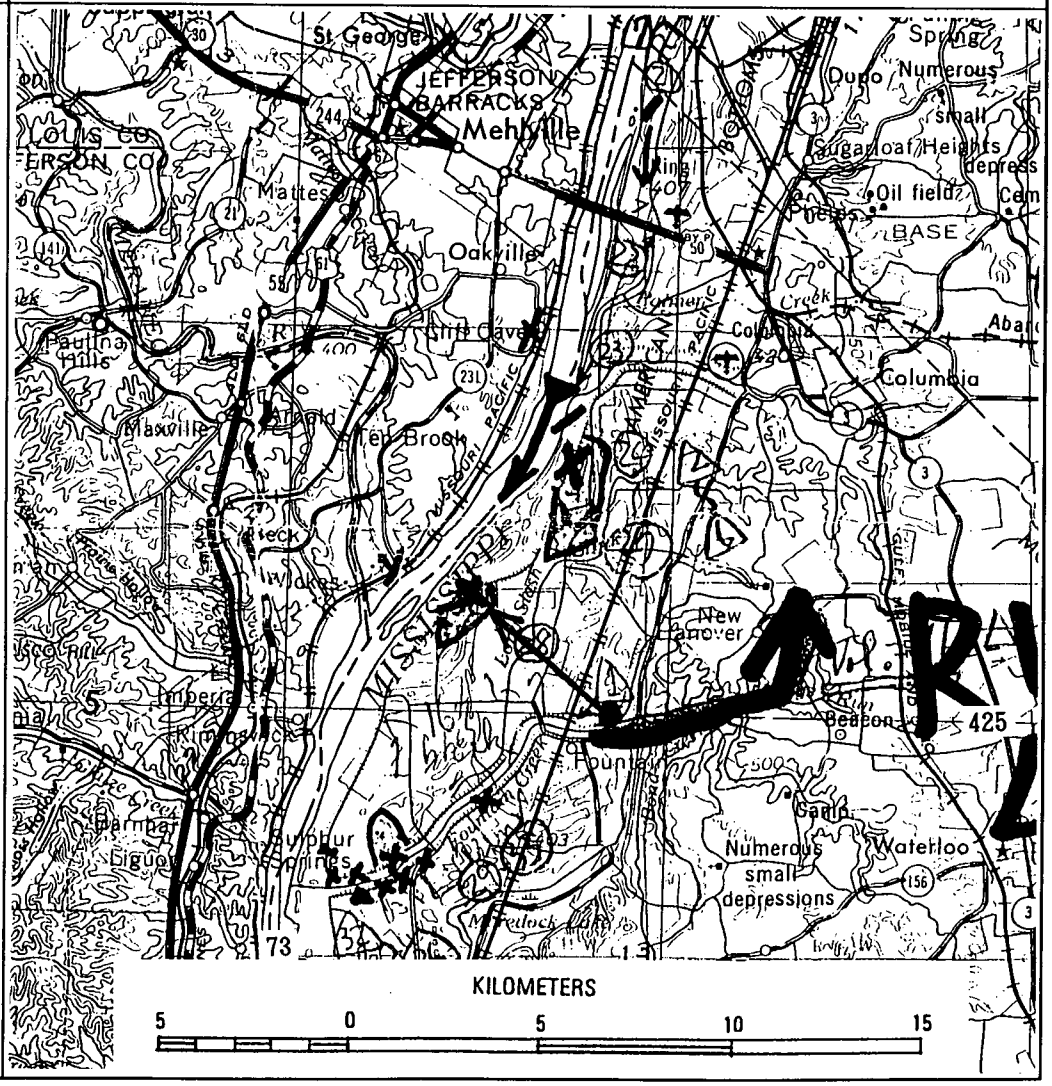
Ⅶ-8 Mississippi 川左岸　Long Slash Creek 近く

写真



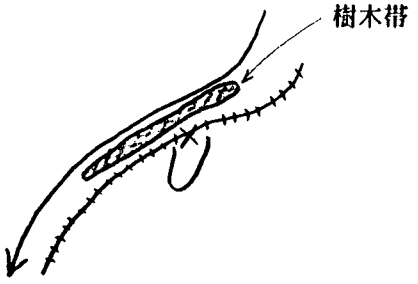
Vol.
12-28

位置図



	Ⅶ-8　Mississippi 川左岸　Long Slash Creek 近く
破堤形態	Ⅶ－A，B，E

観察メモ



• 高水敷幅 約500m。

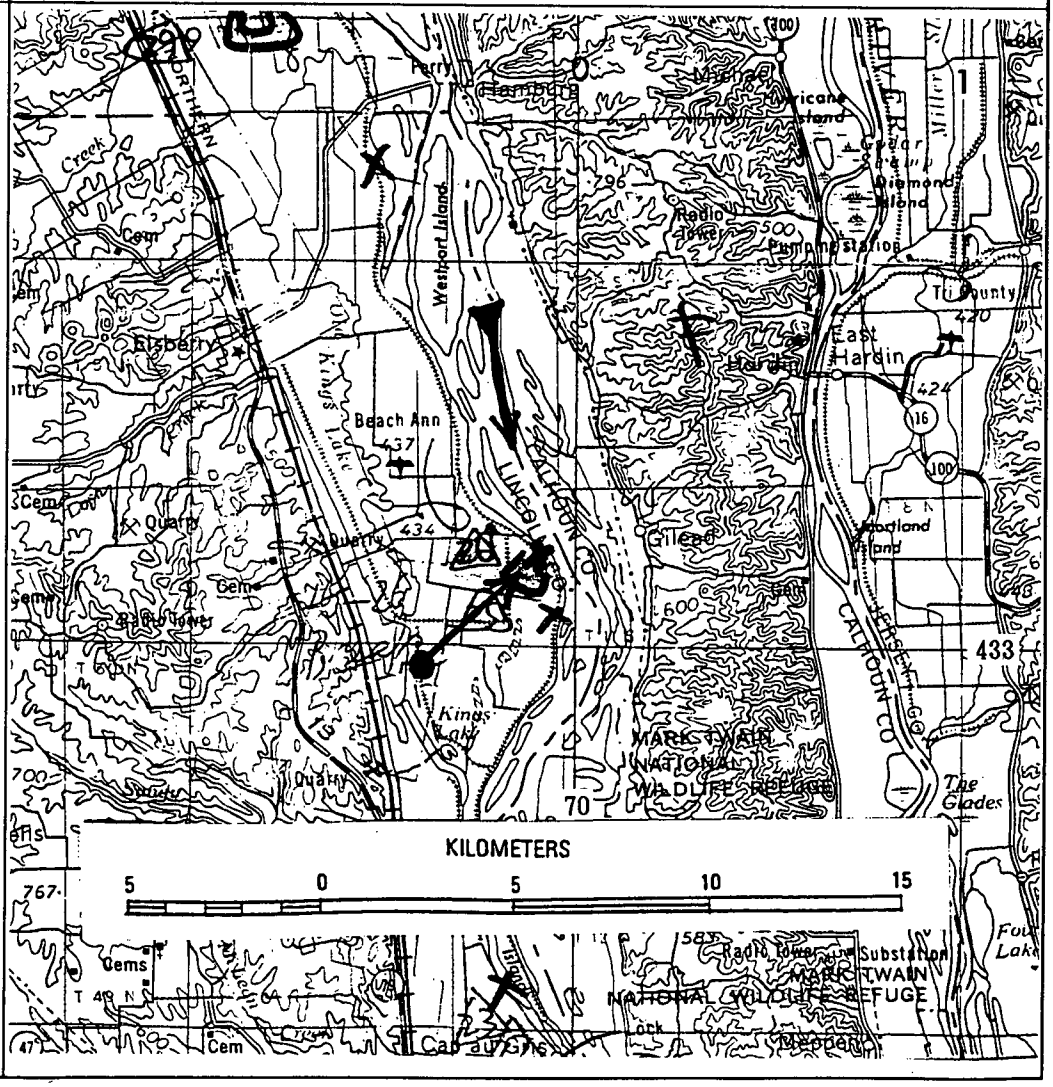
Ⅶ-9 Mississippi 川右岸　Gilead 近く

写真



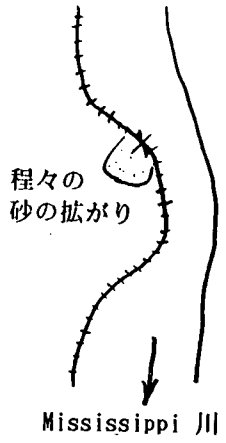
Vol.
16-25

位置図



	Ⅶ-9 Mississippi 川右岸　Gilead 近く
破堤形態	Ⅶ－E

観察メモ



Ⅷ-1 Missouri 川右岸 Labadie Bottoms

写真



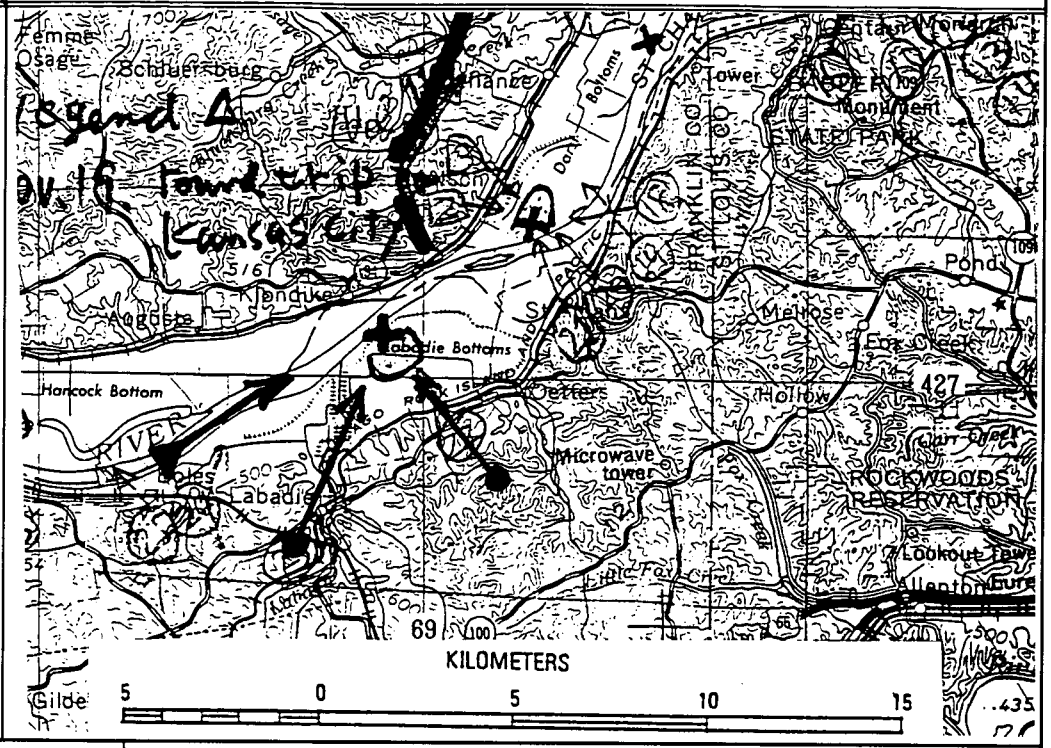
Vol. 4-22



Vol. 4-23

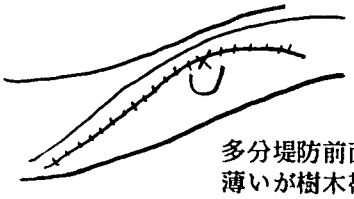
Ⅷ-1　Missouri 川右岸　Labadie Bottoms

位置図



破堤形態　Ⅷ－E

観察メモ

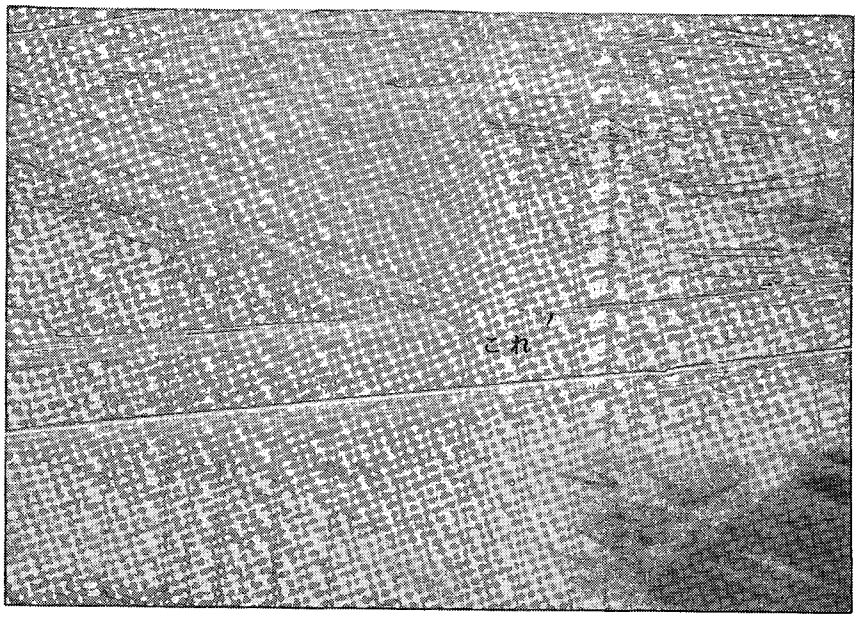


多分堤防前面に
薄いが樹木帯あり。

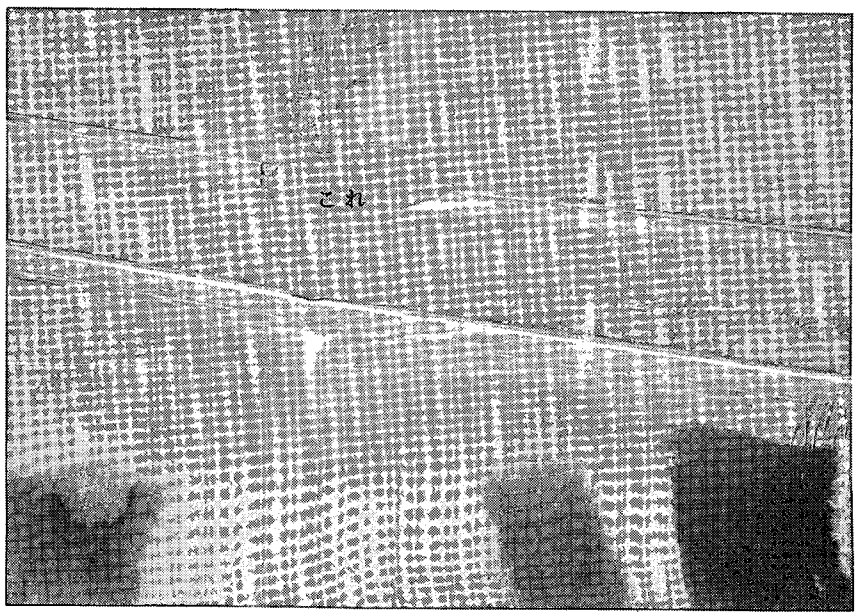
• 低水路幅　約400m。

写真

Ⅷ-2 Mississippi 川左岸側 Fountain Creek St Louis の下流



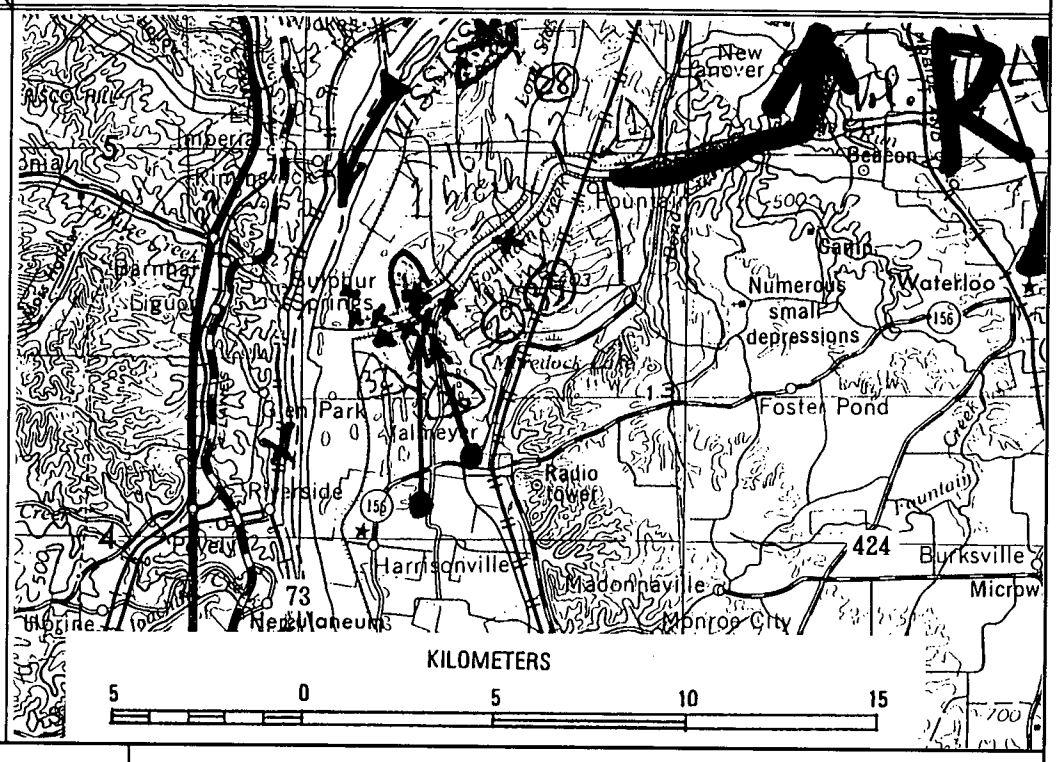
Vol.
15-34



Vol.
15-35

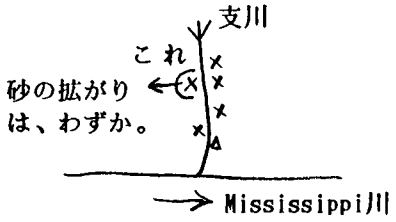
Ⅷ-2　Mississippi 川左岸側 Fountain Creek　St. Louis の下流

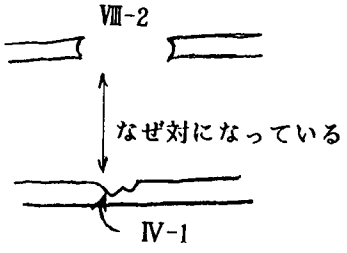
位置図



破堤形態　Ⅷ－C，E

観察メモ

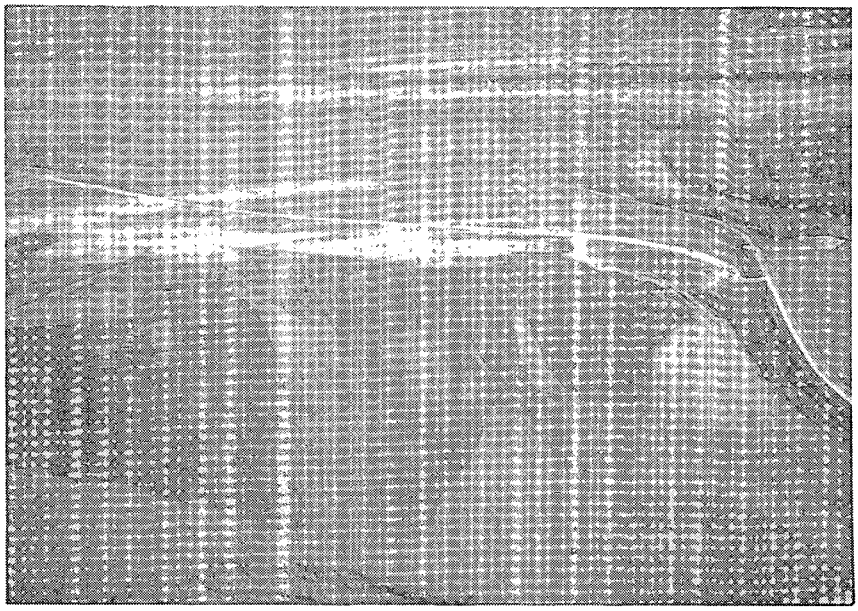




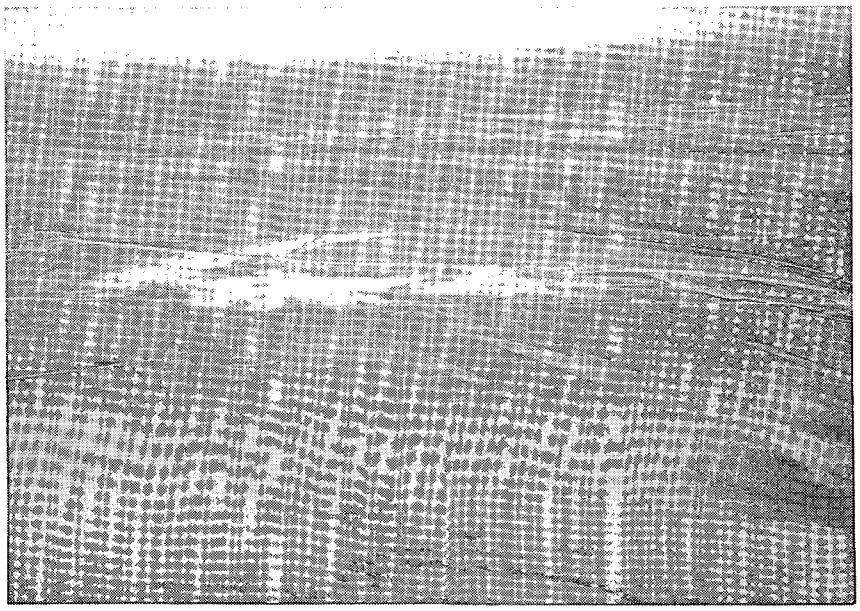
• Mississippi合流点から3km程のところ。

Ⅷ-3　Mississippi 川右岸　　Menfro 近く

写真



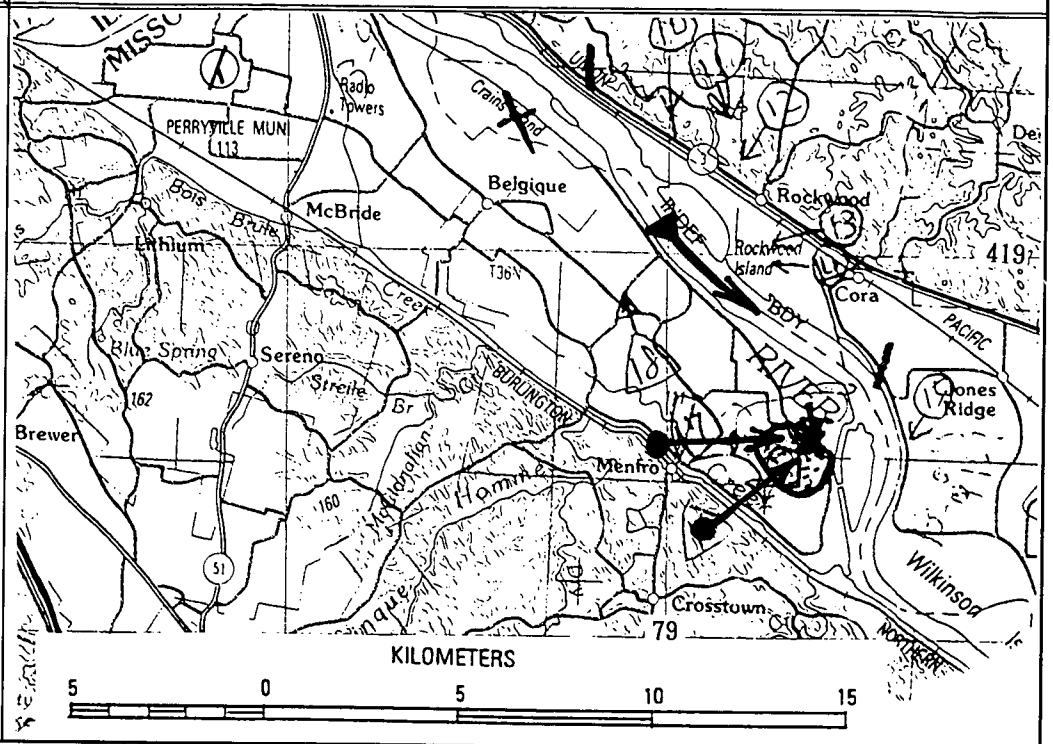
Vol.
15-16



Vol.
15-17

Ⅷ-3　Mississippi 川右岸　　Menfro 近く

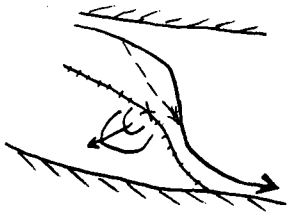
位置図



破堤形態	Ⅷ－B，E

観察メモ

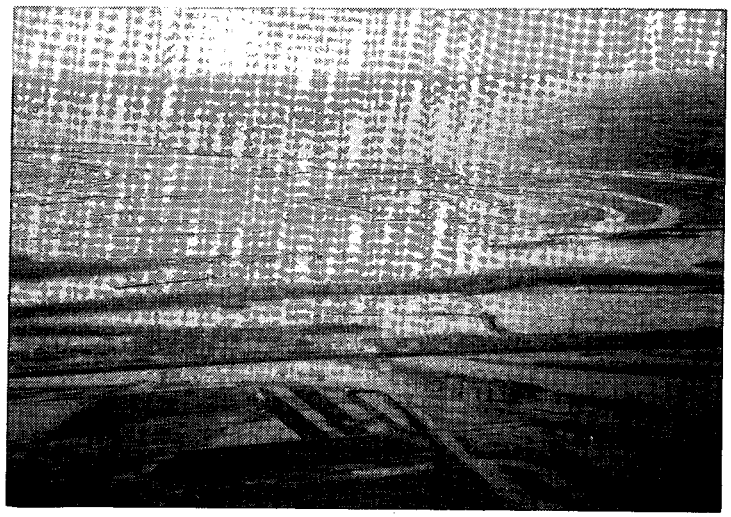
質のよい堤防に見える。
なぜ破堤したか？



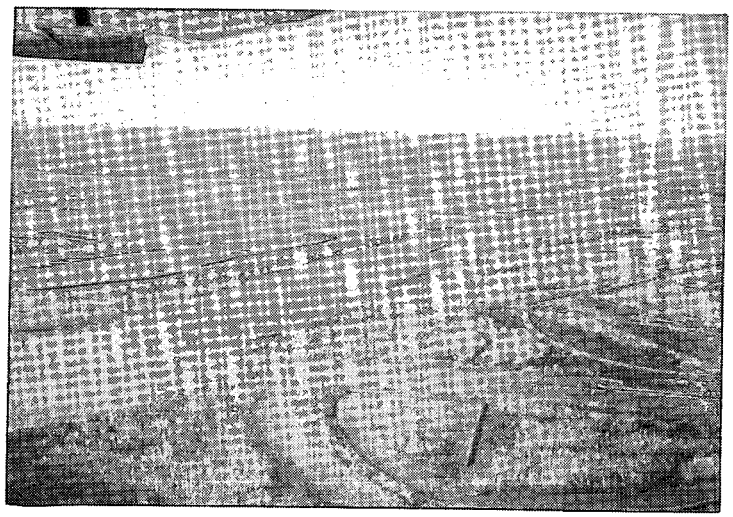
- 樹木帯があり、その後ろが破堤している。
- 樹木帯がありその後ろが破堤している。

Ⅷ-4 Mississippi 川右岸 Kaskaskia Island の上流部

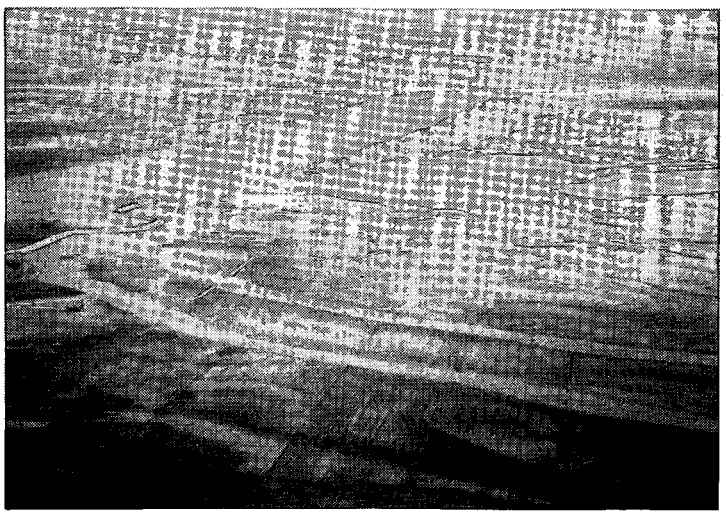
写真



Vol.
13-5



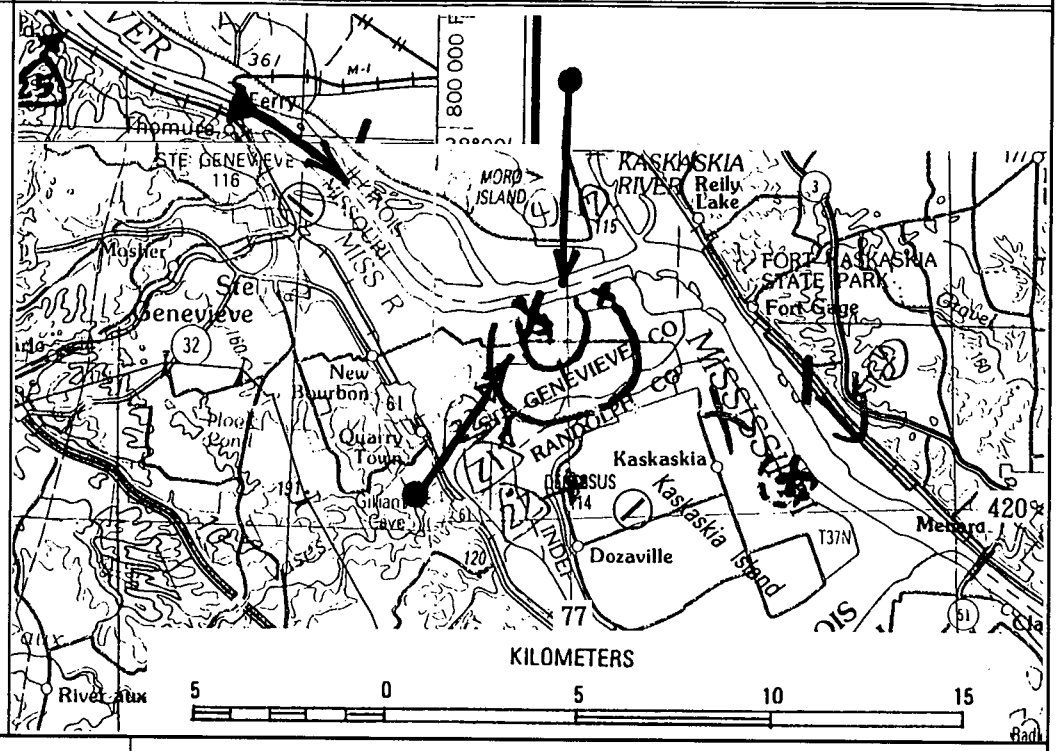
Vol.
13-6



Vol.
15-22

Ⅷ-4　Mississippi 川右岸　Kaskaskia Island の上流部

位置図



破堤形態	Ⅷ－F

観察メモ

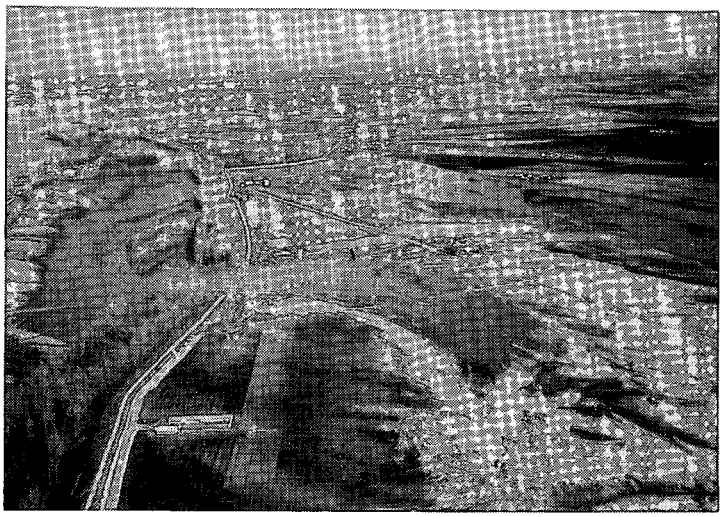
未だに水浸し



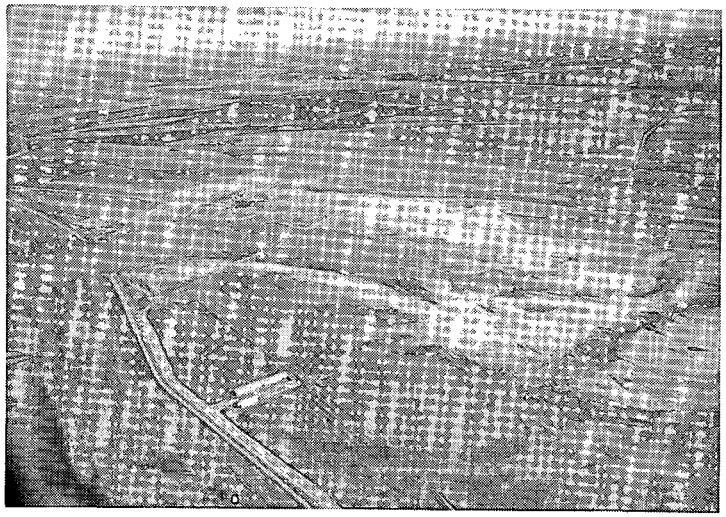
砂拡がりの絶対面積は大きいが、
落堀に比較して、さ程大きくない。
このためⅨでなくⅧに分類した。

• 低水路幅　5～600m。

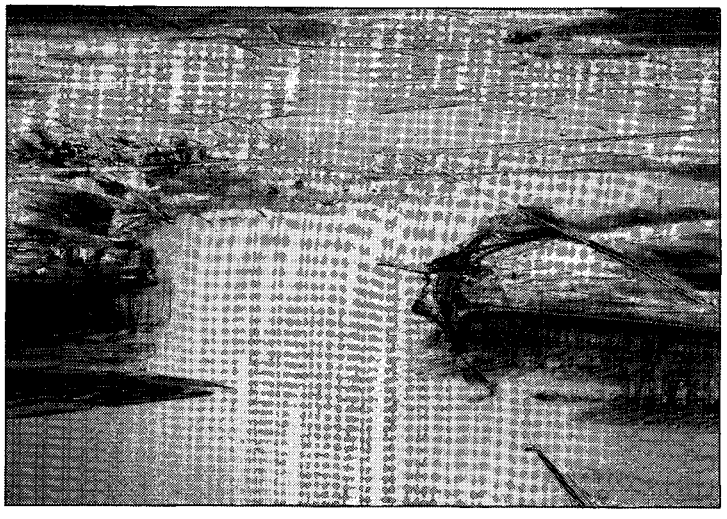
写真



Vol.
16-3



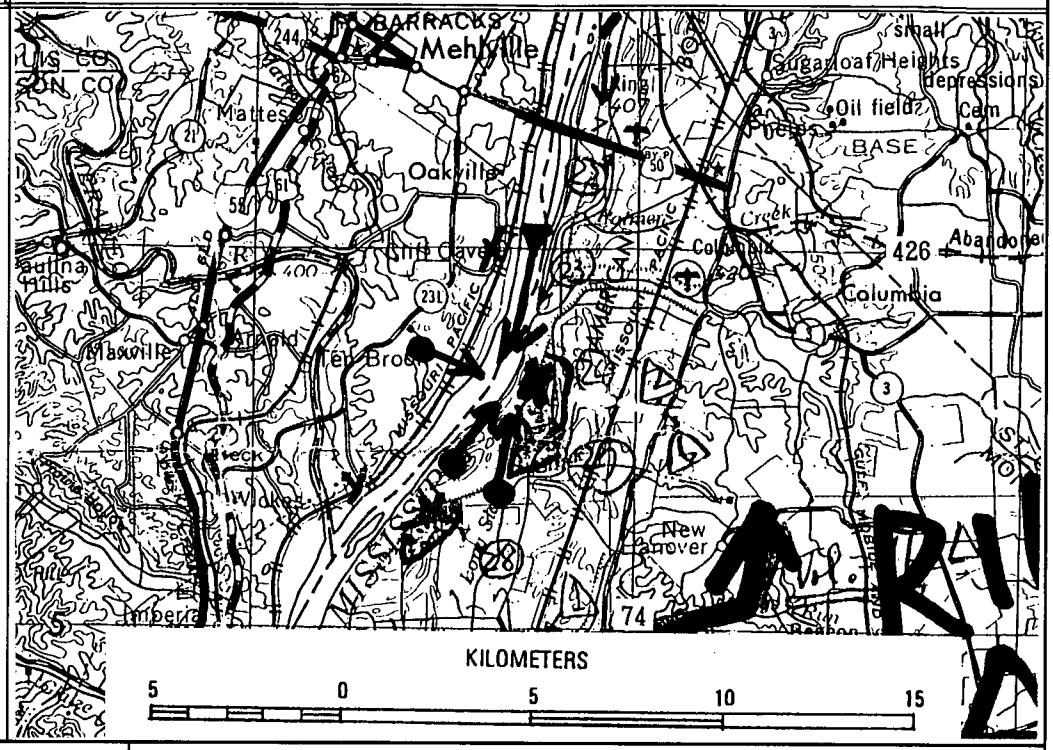
Vol.
16-4



Vol.
16-6

Ⅷ-5 Mississippi 川左岸　American Bottom

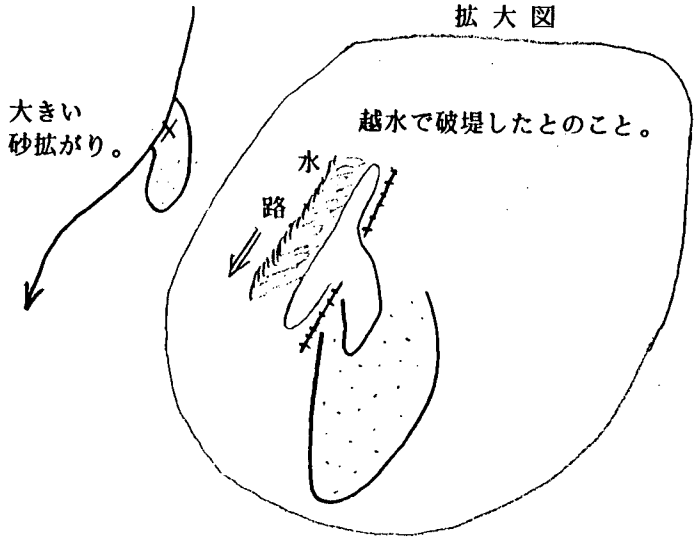
位置図



破堤形態　Ⅶ－A，B，E

観察メモ

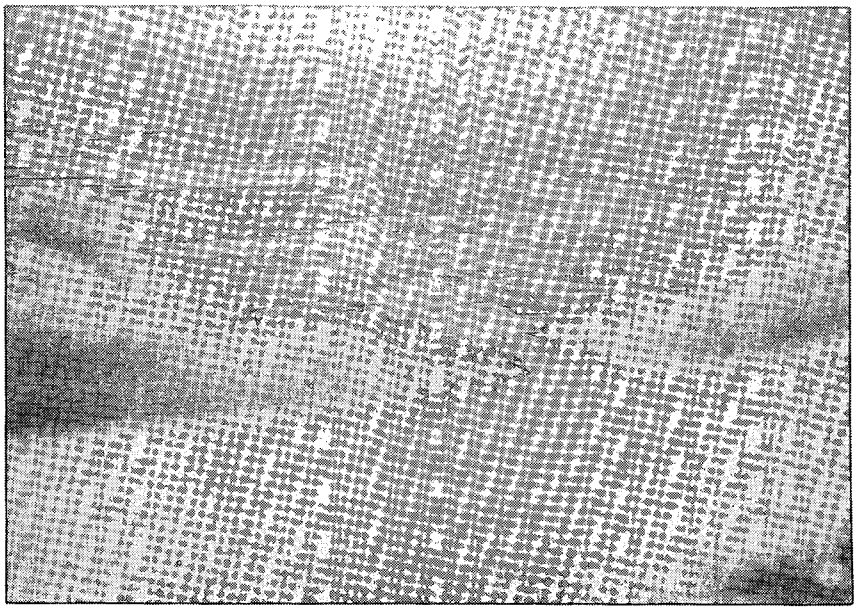
拡大図



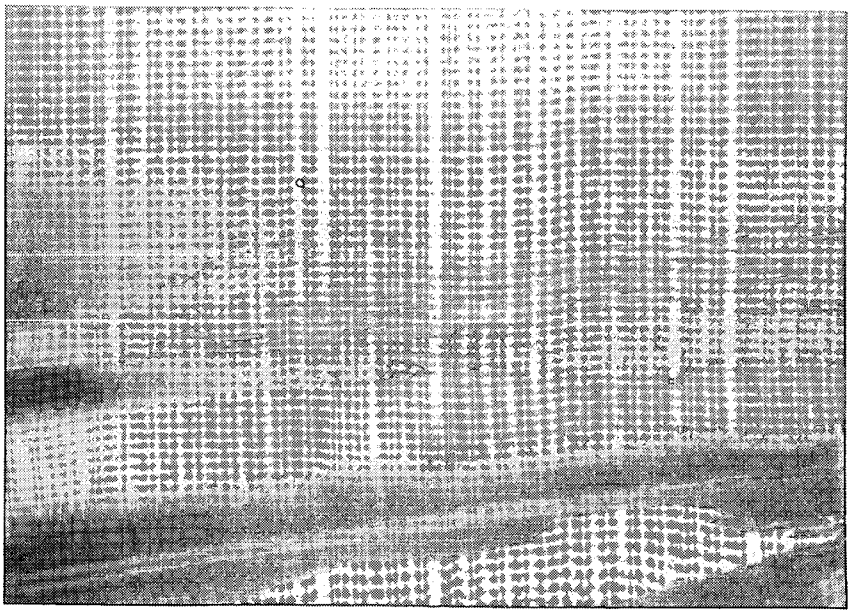
砂拡がりは大きいが、落堀スケールに比べると、さ程ではないので、ⅨでなくⅧに分類した。

Ⅷ-6 Missouri 川左岸 Shaunee Creek 合流部対岸

写真



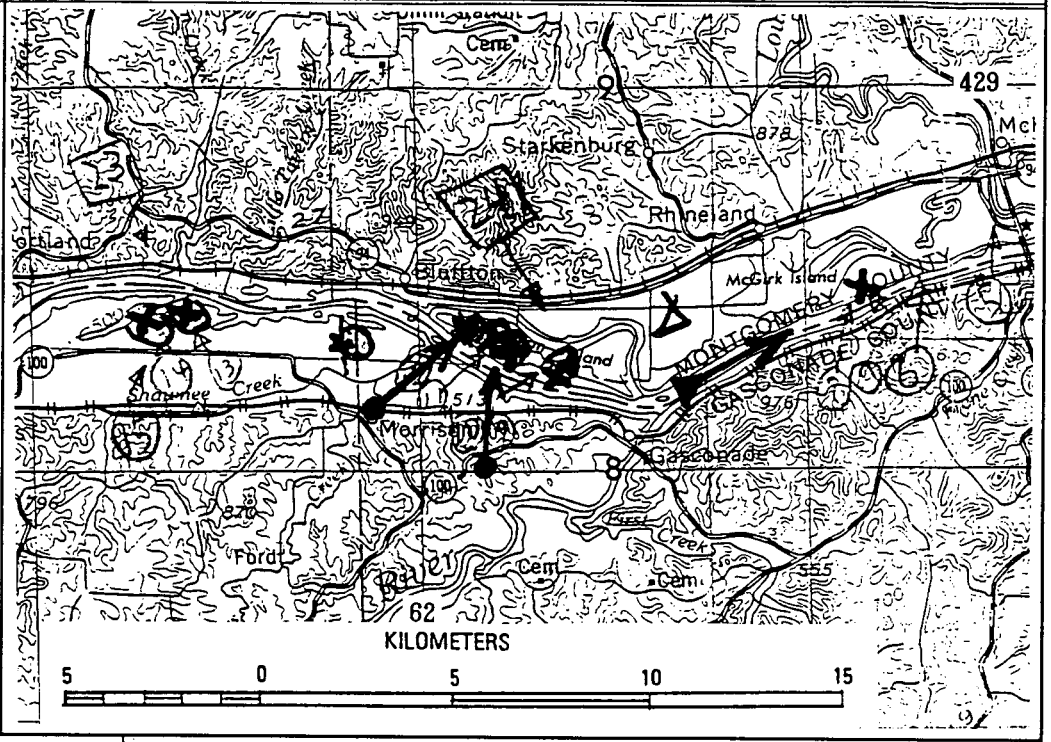
Vol.
5-10



Vol.
5-12

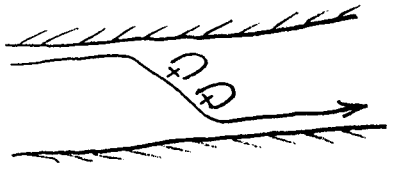
Ⅷ-6　Missouri 川左岸　Shaunee Creek 合流部対岸

位置図



破堤形態	Ⅷ－A，B，F

観察メモ

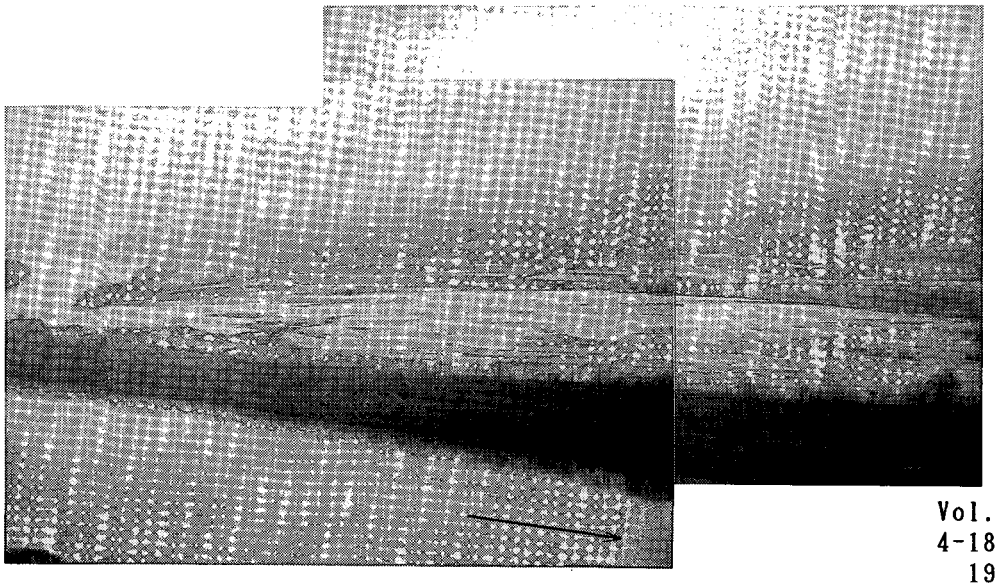


堤防前面に樹木帯あり。
破堤に伴いもちろん切れた。

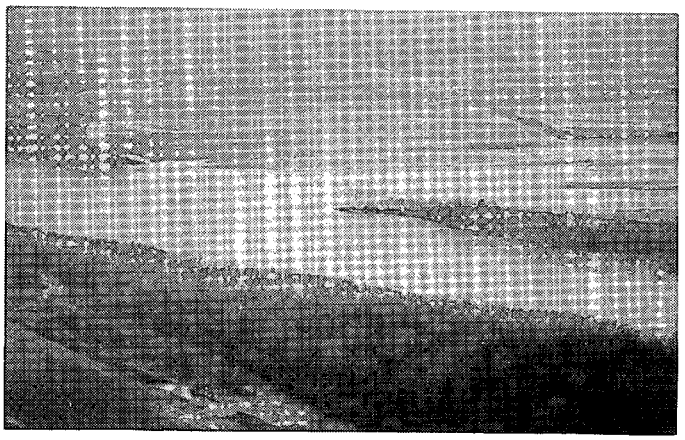
• 低水路幅 500m 程。

Ⅸ(1)-1 Missouri 左岸　Darst Bottoms の上流端

写真



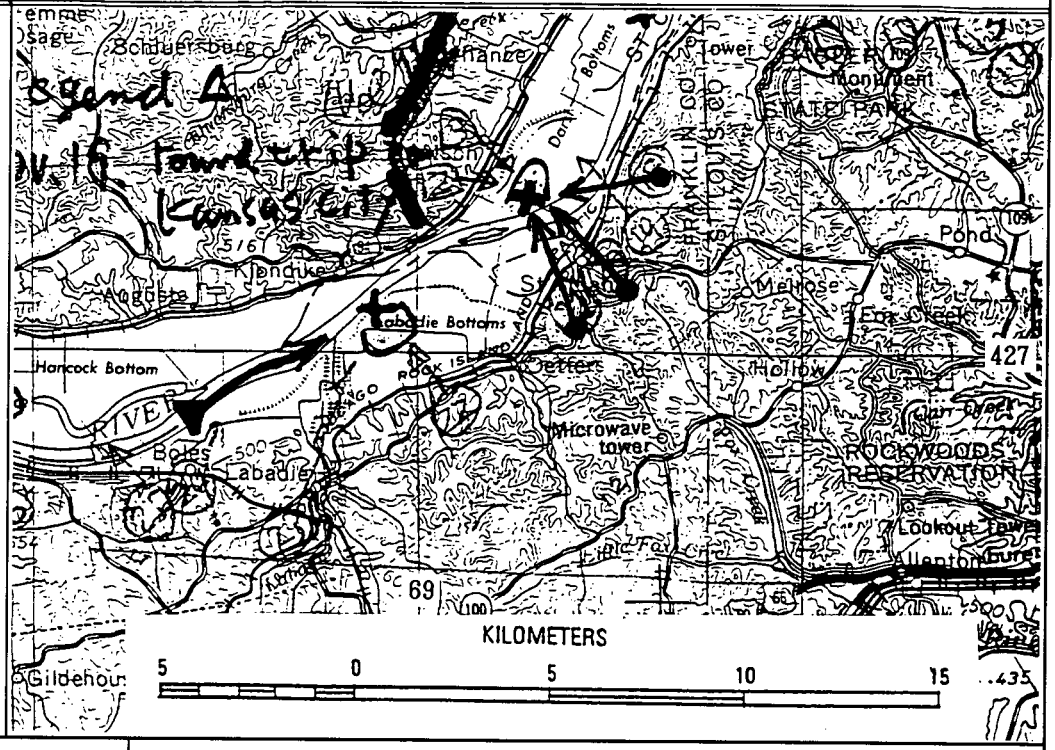
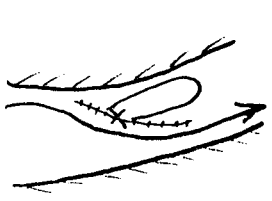
Vol.
4-18
19



Vol.
4-20

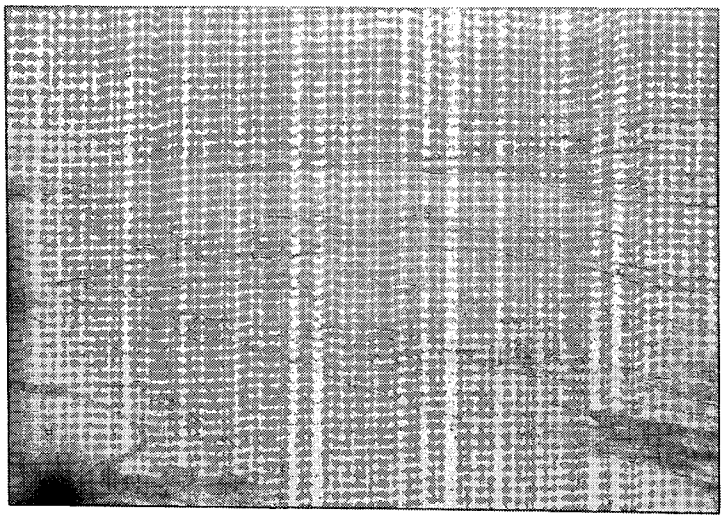


Vol.
4-21

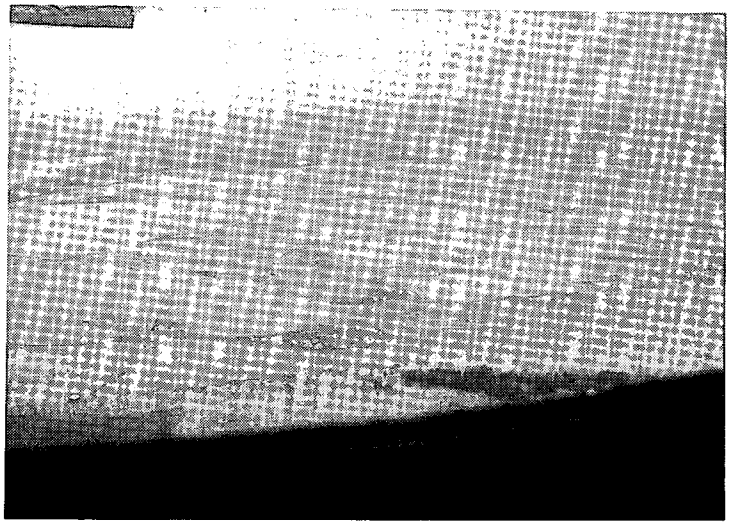
	Ⅸ(1)-1 Missouri 左岸　Darst Bottoms の上流端
位置図	
破堤形態	Ⅸ(1)－A，B，F
観察メモ	 堤防前面に うすいが 樹木帯があった • 低水路幅 250～300m。

Ⅸ(1)-2　Missouri 川右岸　Berger 近く

写真



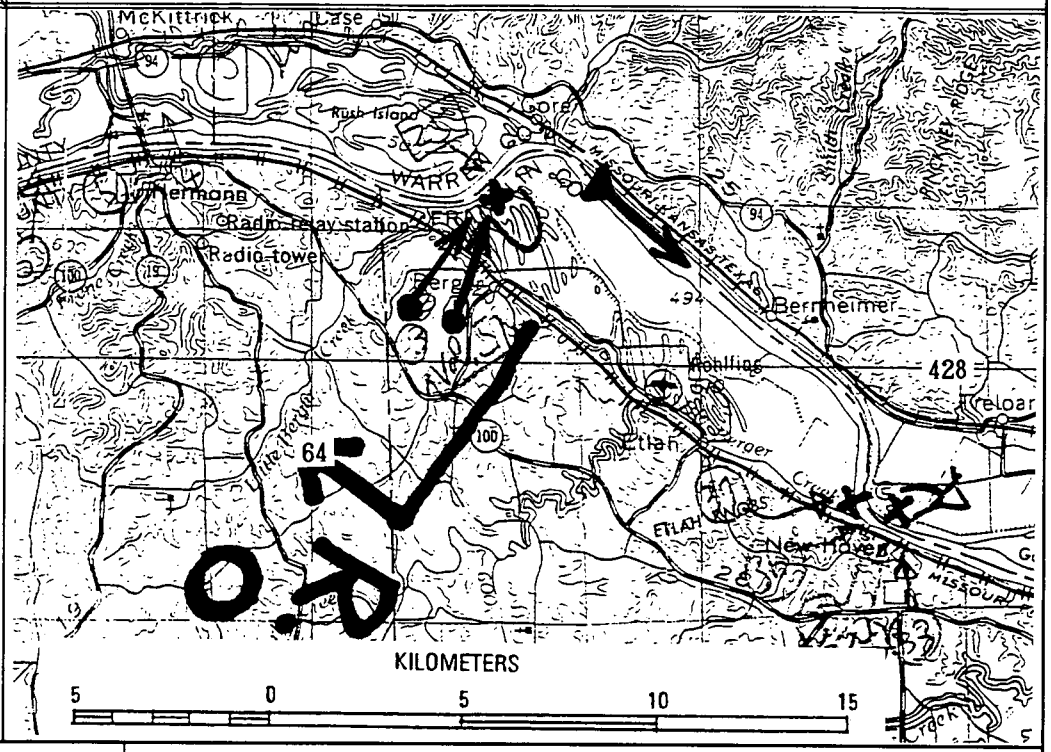
Vol.
5-1



Vol.
5-2

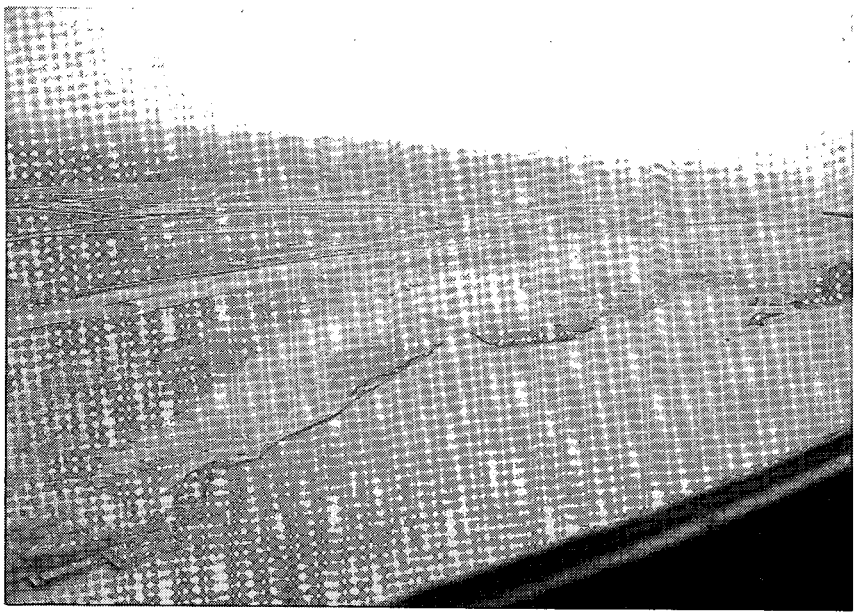


Vol.
5-3

	Ⅸ(1)-2　Missouri 川右岸　Berger 近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(1)－F
観察メモ	 堤防前面に 薄い樹木帯。 • 低水路幅 200～300m。

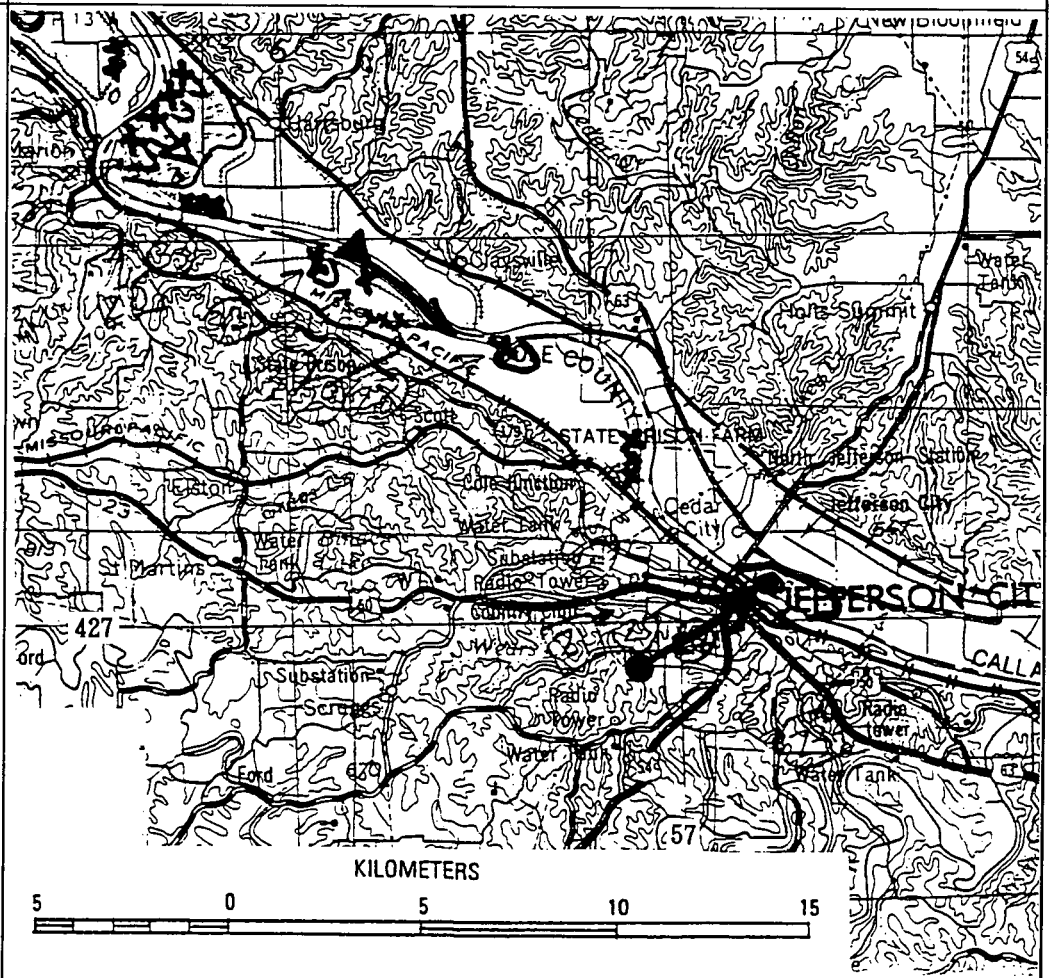
Ⅸ(1)-3　Missouri 川左岸　Jefferson City 近く

写真



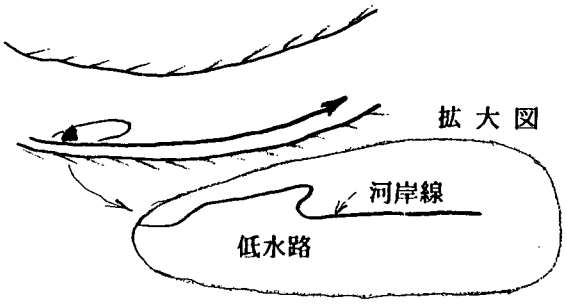
Vol.
5-24

位置図



	Ⅸ(1)-3　Missouri 川左岸　Jefferson City 近く
破堤形態	Ⅸ(1)－E

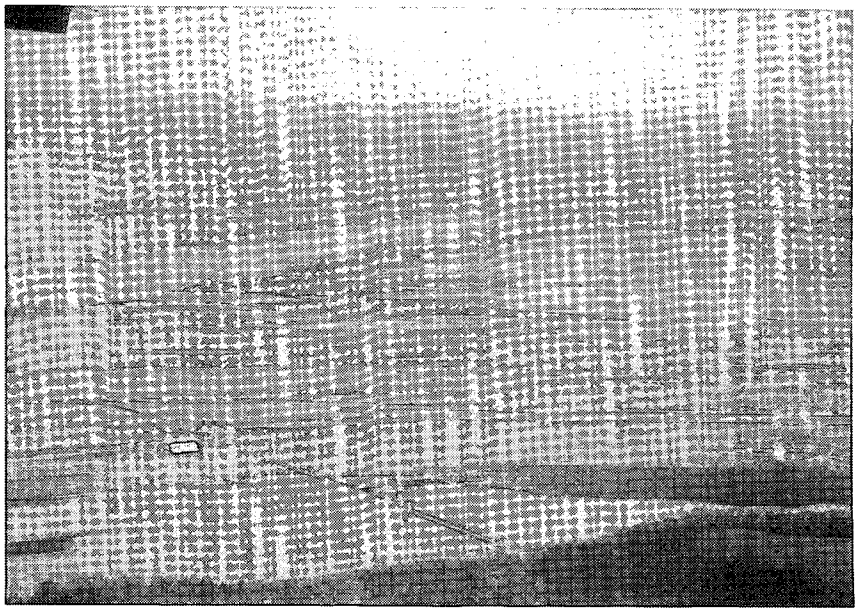
観察メモ



- 低水路幅 2～ 300m。
- 侵食前の低水路左岸に沿って、線状のものが見える。捨石の残存か？

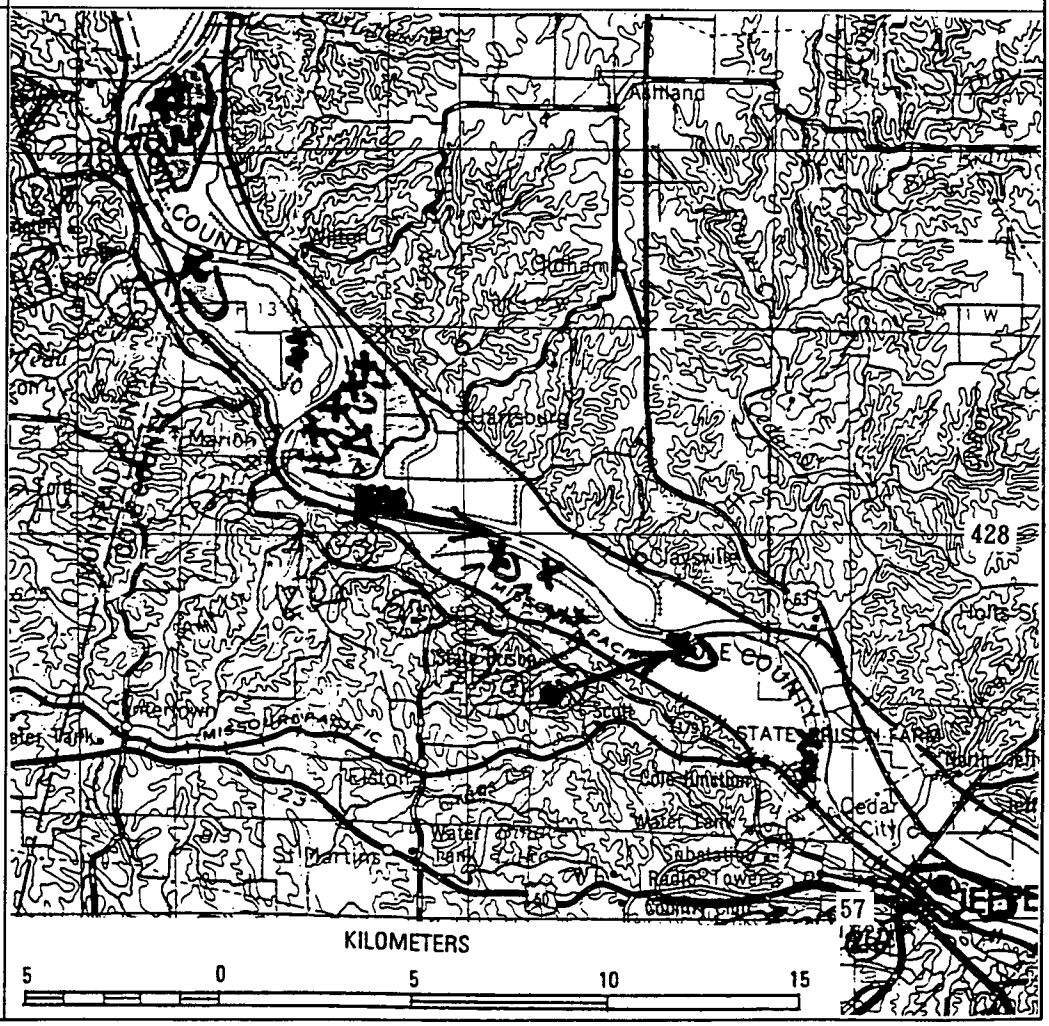
IX(1)-4　Missouri 川右岸　Wilton 近く

写真



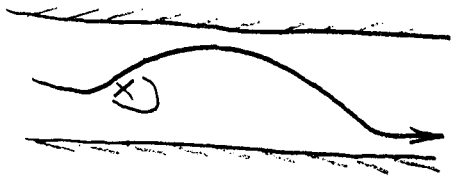
Vol.
5-28

位置図



	Ⅸ(1)-4　Missouri 川右岸　Wilton 近く
破堤形態	Ⅸ(1)－F

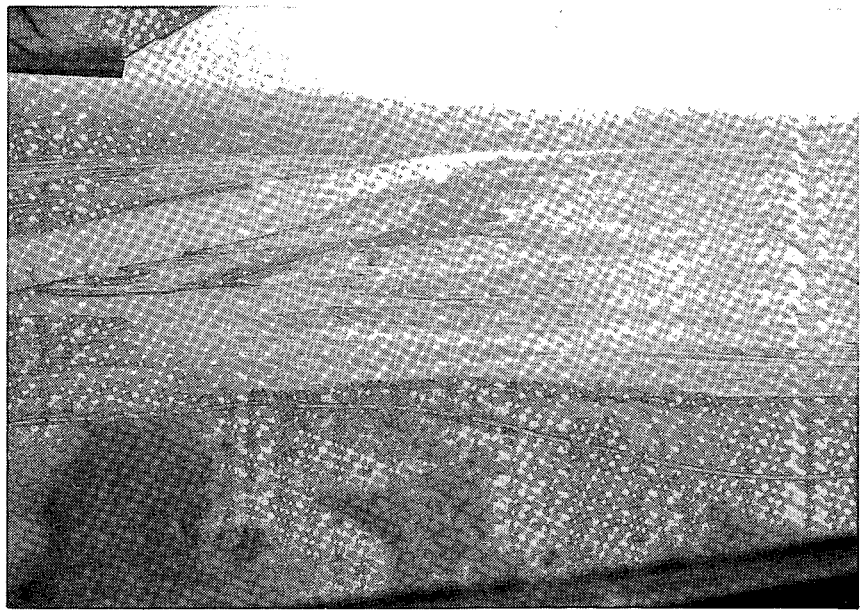
観察メモ



- 低水路幅 300m 程度。
- 河岸の樹木は殆ど無かったようだ。

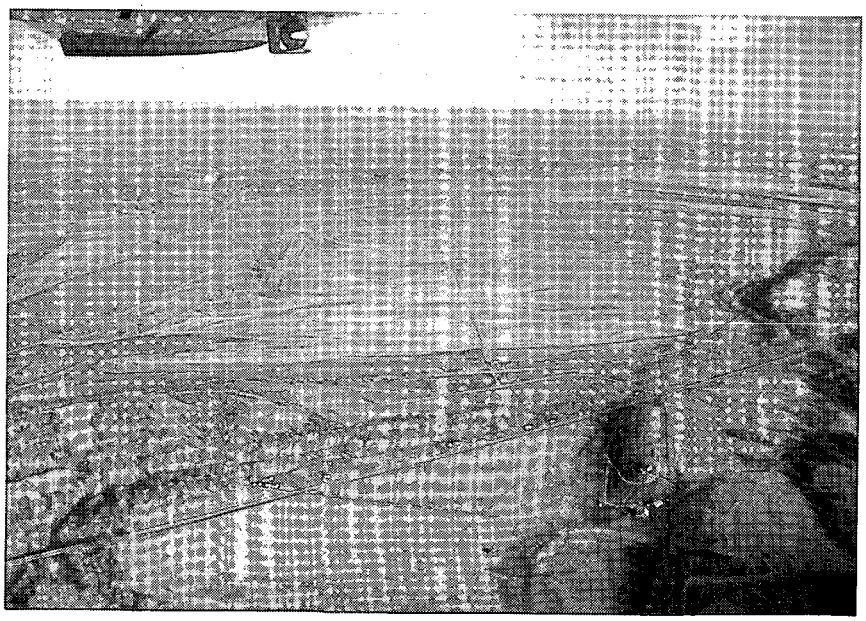
Ⅸ(1)-5　Missouri 川右岸　　Wilton 近く

写

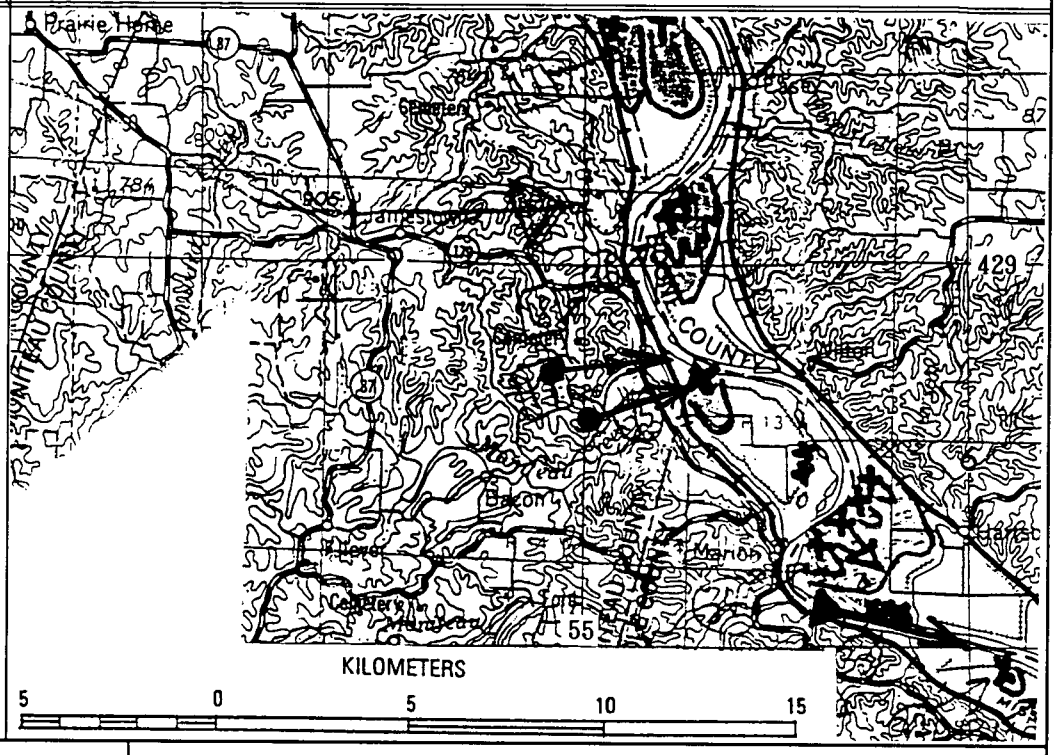
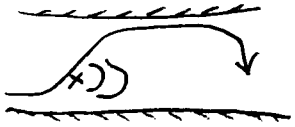


Vol.
5-35

真

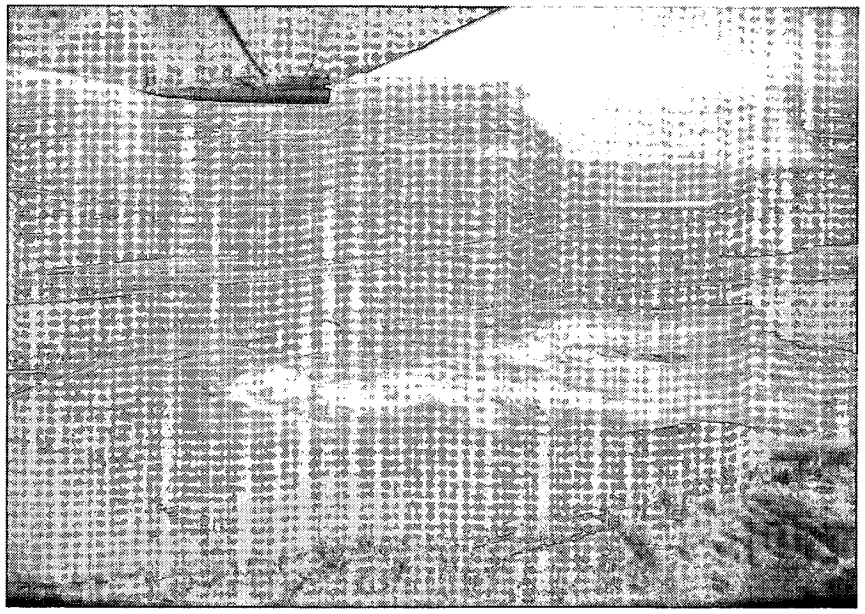


Vol.
10-19

	Ⅸ(1)-5　Missouri 川右岸　Wilton 近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(1)－A，G
観察メモ	 • 低水路幅 200～300m。

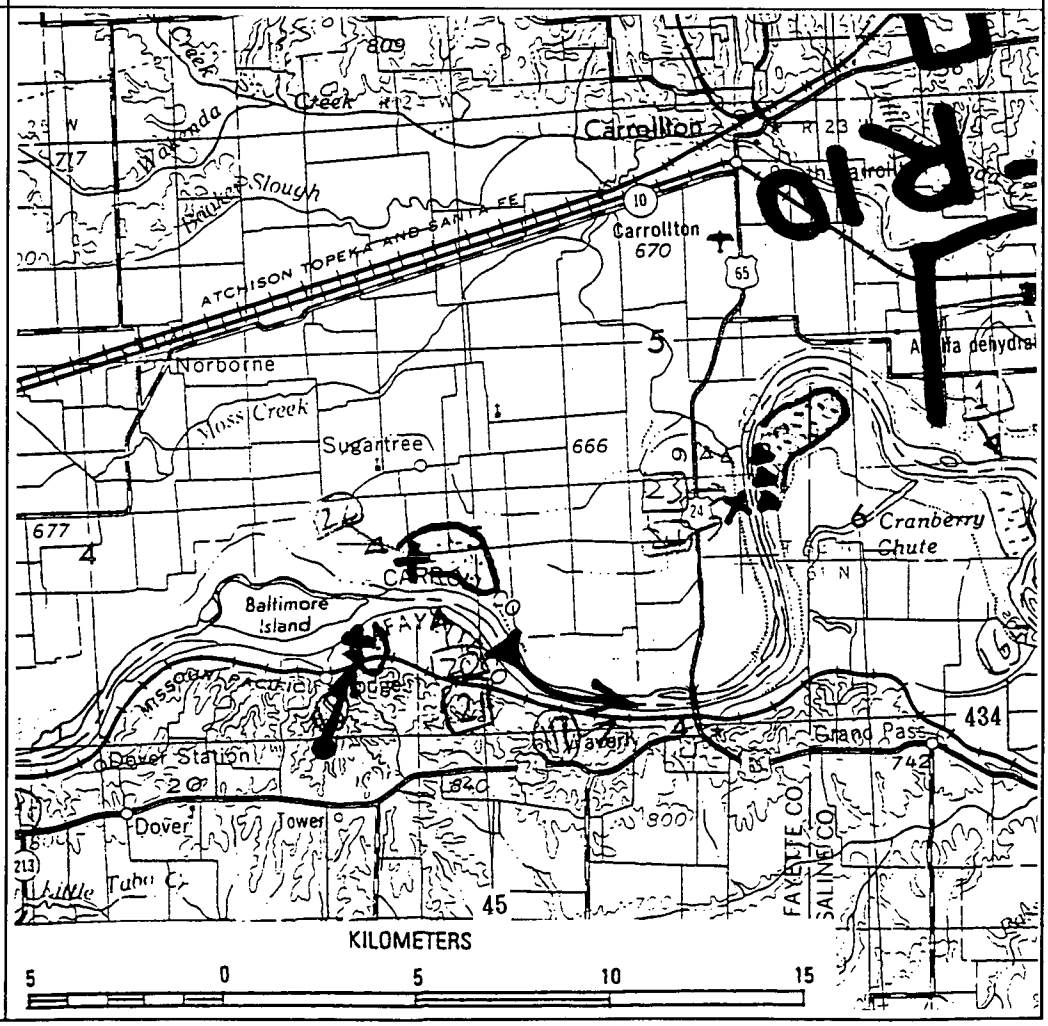
Ⅸ(1)-6　Missouri 川右岸　Baltimore Island 近く

写真



Vol.
7-18

位置図



	Ⅸ(1)-6　Missouri 川右岸　Baltimore Island 近く
破堤形態	Ⅸ(1)－A，B，F

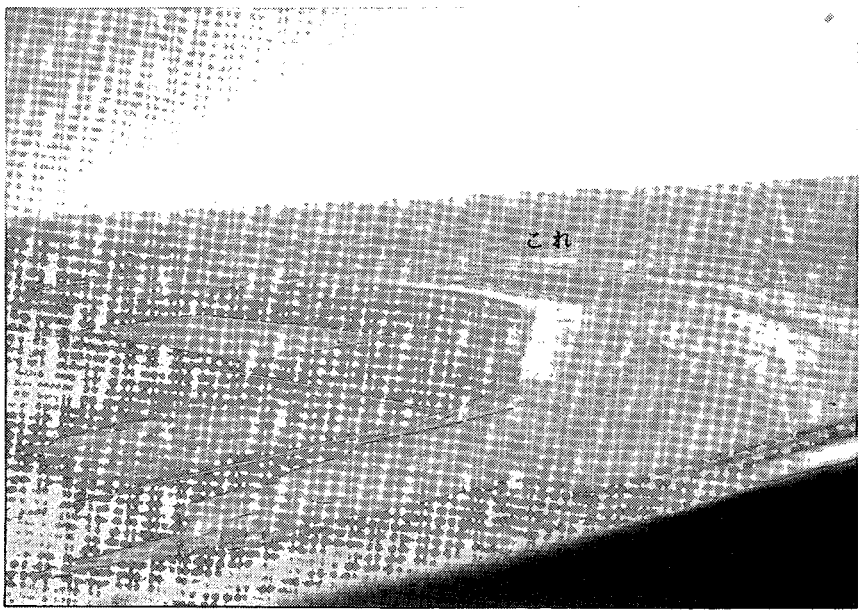
観察メモ



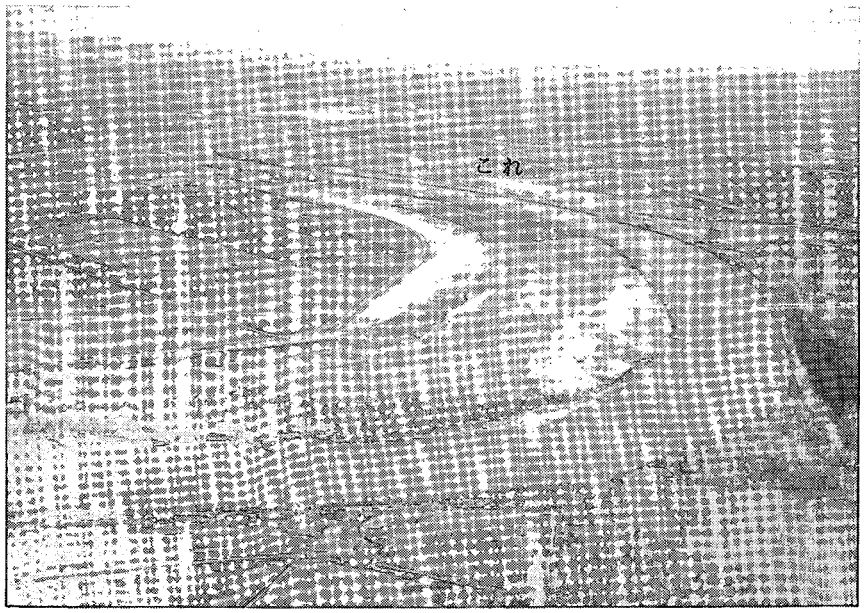
- 低水路幅 400～500m。
- 狭い高水敷、その上に粗い樹木帯。

Ⅸ(1)-7 Missouri 川右岸　Waldron 付近

写真



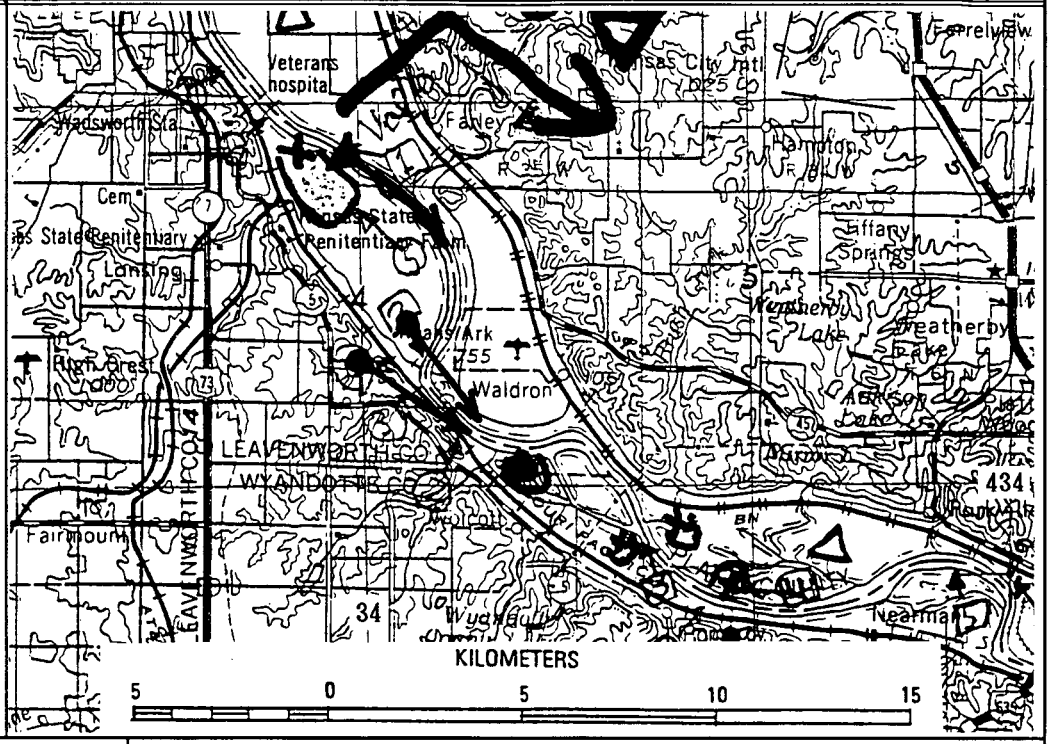
Vol.
8-4



Vol.
9-2

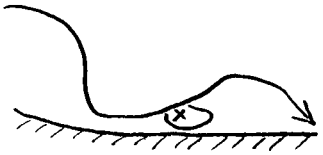
	Ⅸ(1)-7 Missouri 川右岸　Waldron 付近

位置図

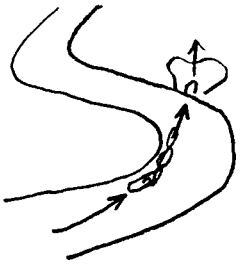


破堤形態	Ⅸ(1)－F

観察メモ



砂の拡がりは
それほど大きくない。

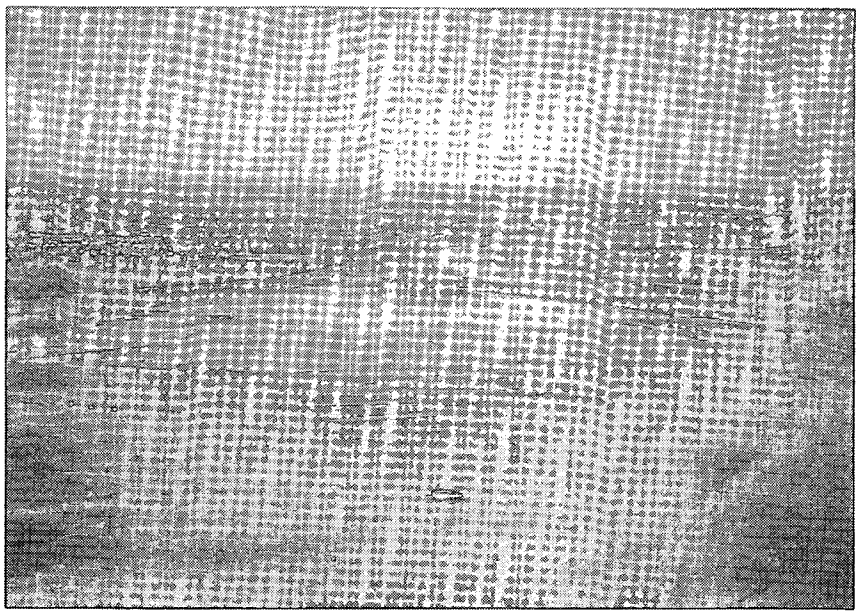


やはり内側洗掘～その少し下流の砂堆積(内岸)～次の右外岸の破堤はセットか？たとえば、右外岸の破堤がますます その上流内岸流速を速める可能性。

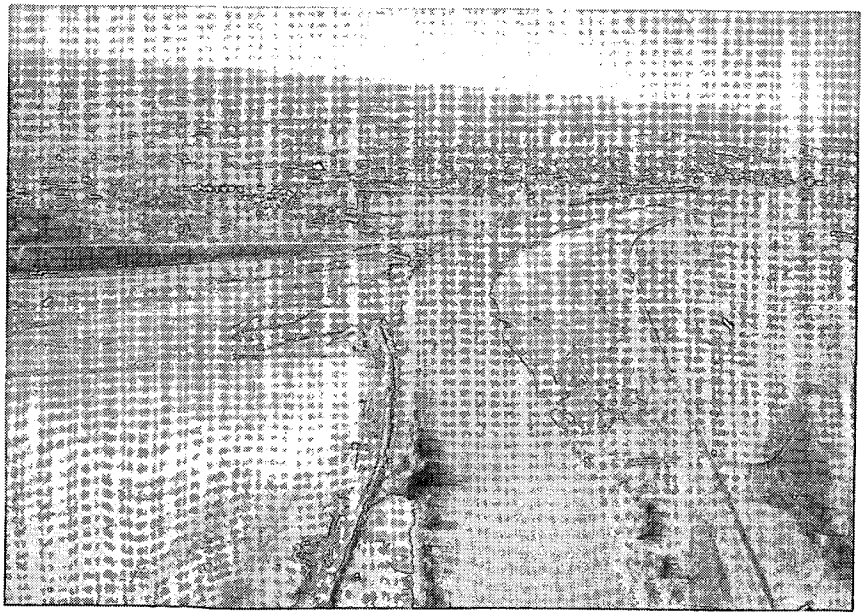
- 低水路幅 300m 程。
- 河岸の樹木は無かったようだ。

Ⅸ(1)-8　Missouri 川右岸　Leaven Worth 付近

写真



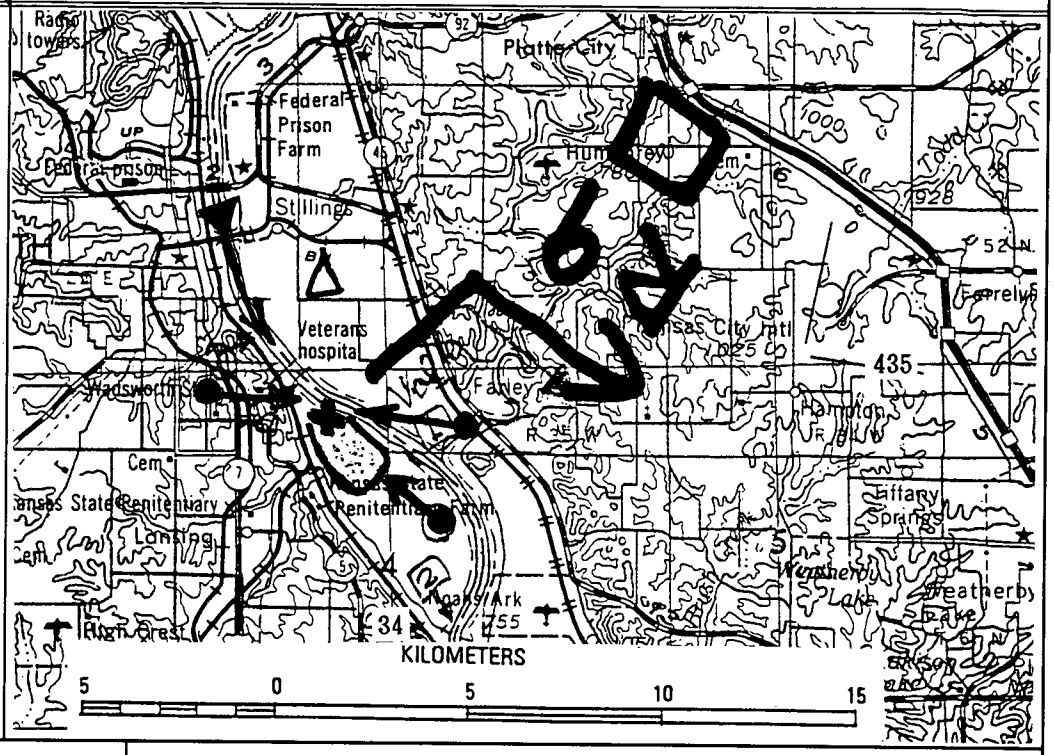
Vol.
8-5



Vol.
9-1

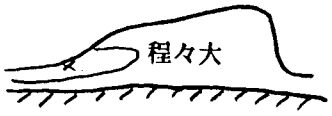
	Ⅸ(1)-8　Missouri 川右岸　Leaven Worth 付近

位置図



破堤形態	Ⅸ(1)－F

観察メモ

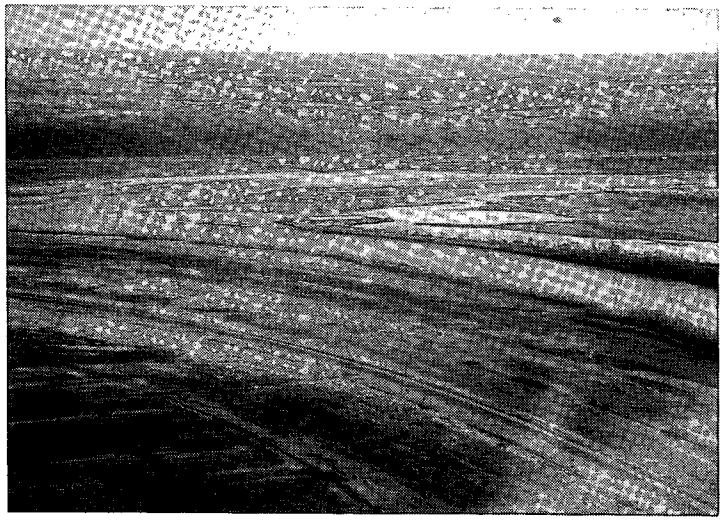


上流の湾曲内側の水
引っ張ったように見える。

- 低水路幅 400m 程。
- 河岸にごく幅の狭い線状樹木あり。

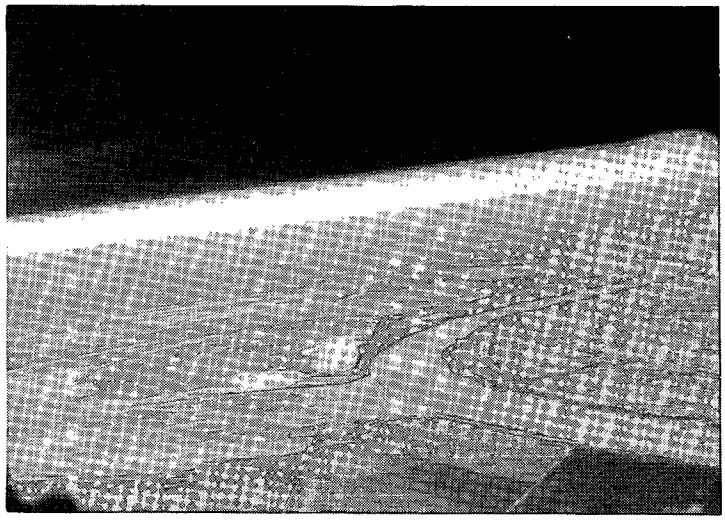
写真

Ⅸ(1)-9　Missouri 川左岸　Atchison 近く



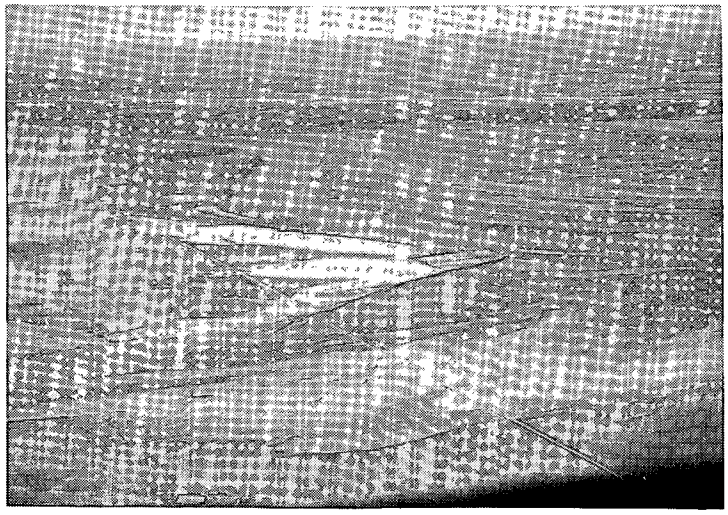
→

Vol.
8-10



←

Vol.
8-21

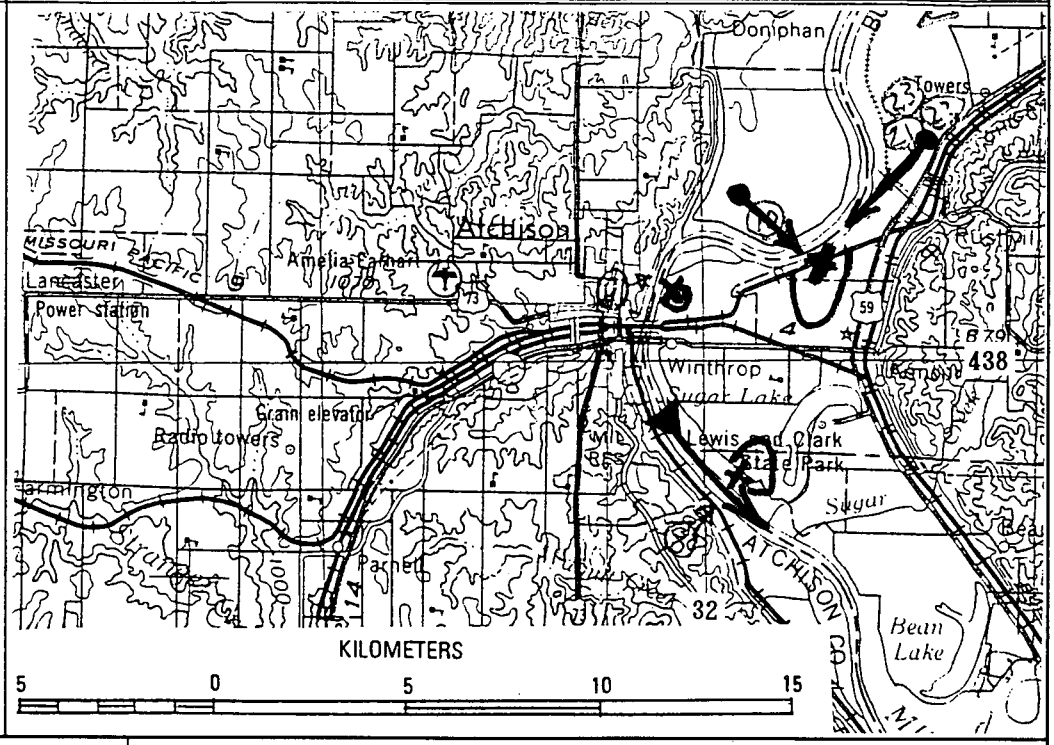


←

Vol.
8-23

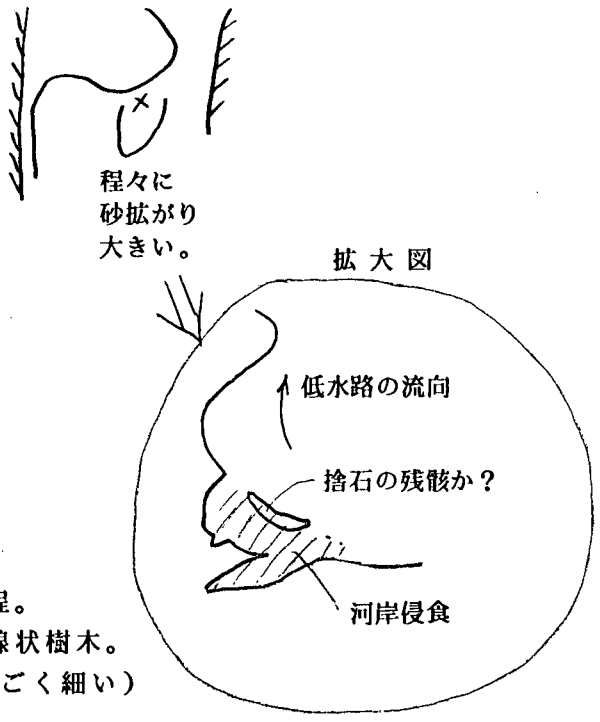
IX(1)-9　Missouri 川左岸　Atchison 近く

位置図



破堤形態　IX(1)－F

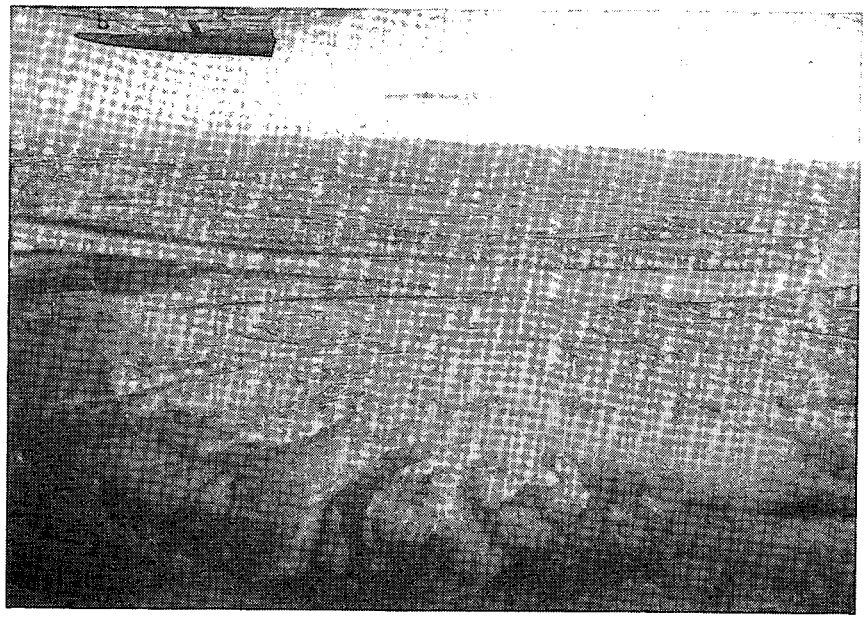
観察メモ



- 低水路幅 300m 程。
- 河岸にまばらな線状樹木。
（ごく細い）

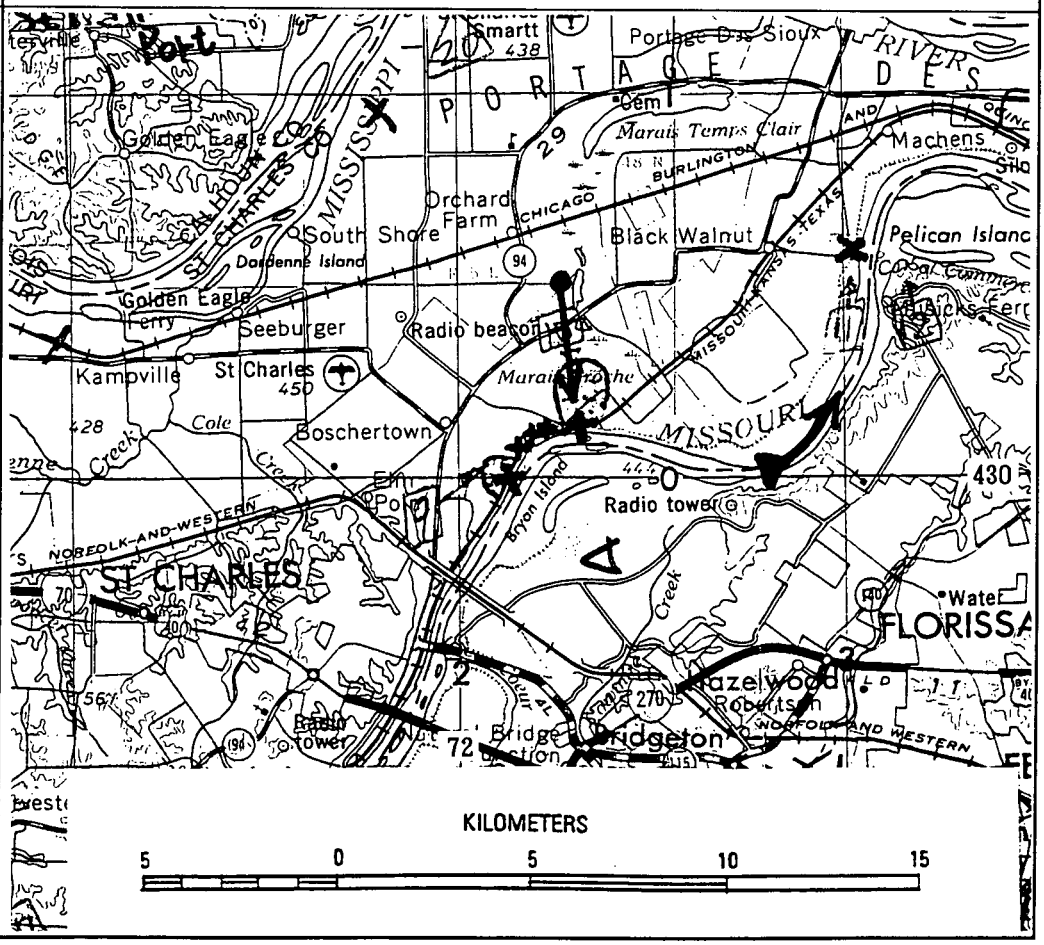
Ⅸ(1)-10　Missouri 川左岸　St. Charles 近く

写真



Vol. 11-10

位置図



	Ⅸ(1)-10　Missouri 川左岸　St. Charles 近く
破堤形態	Ⅸ(1)－F

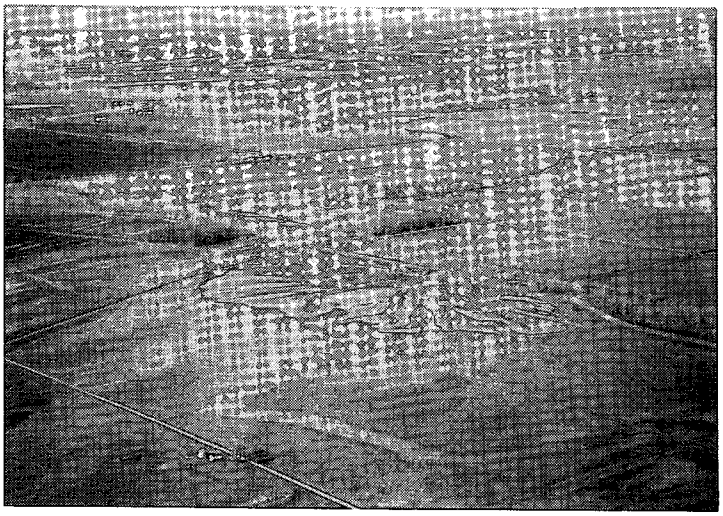
観察メモ



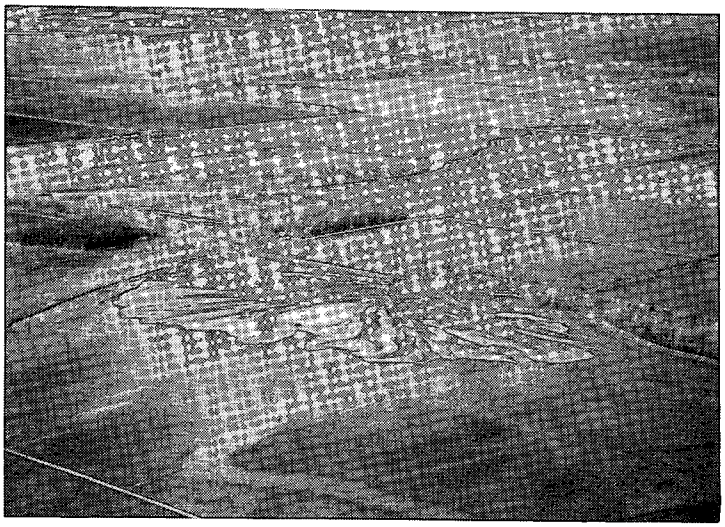
- 低水路幅 600～700m。
- 小さな州が低水路内に３個ある。
- 河岸に幅の狭い線状の樹木があったようだ。

写真

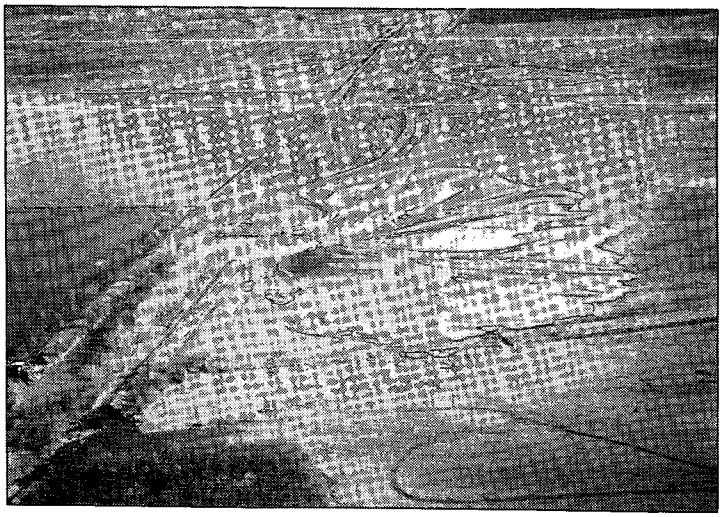
Ⅸ(1)-11　Mississippi 川右岸　右岸側に入る Bryants Creek



Vol.
16-27



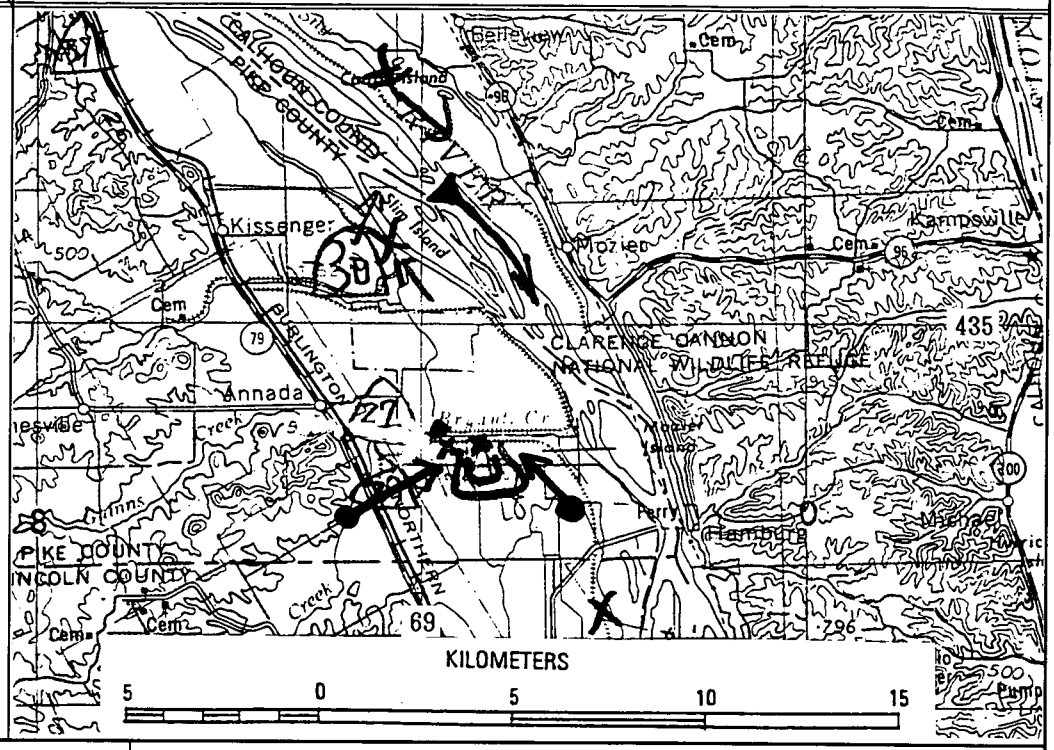
Vol.
16-28



Vol.
16-29

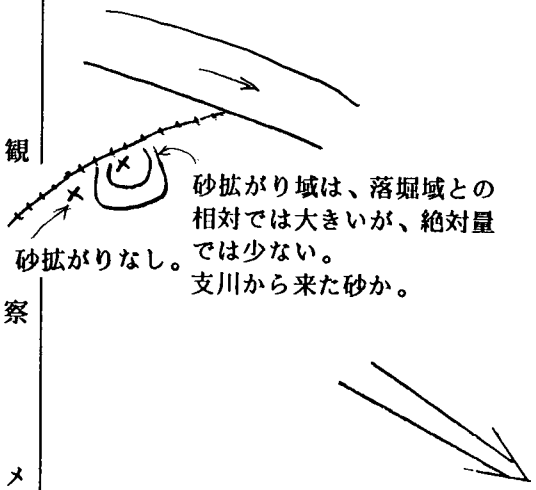
Ⅸ(1)-11　Mississippi 川右岸　右岸側に入る Bryants Creek

位置図

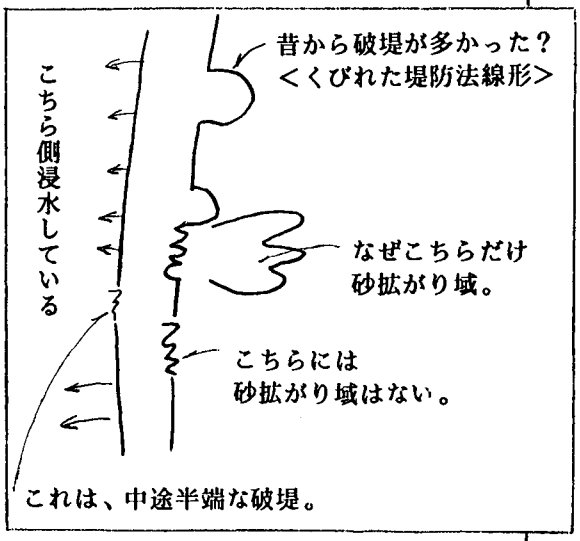


破堤形態	Ⅸ(1)－C，E

観察メモ



拡大図

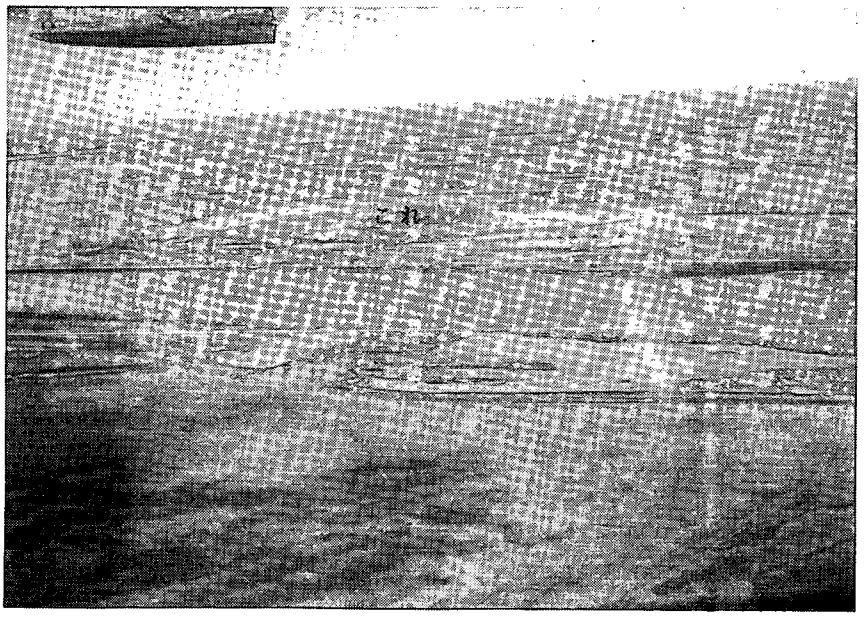


Ⅸ(1)-12　Missouri 川右岸　Cutoff Lake の近く

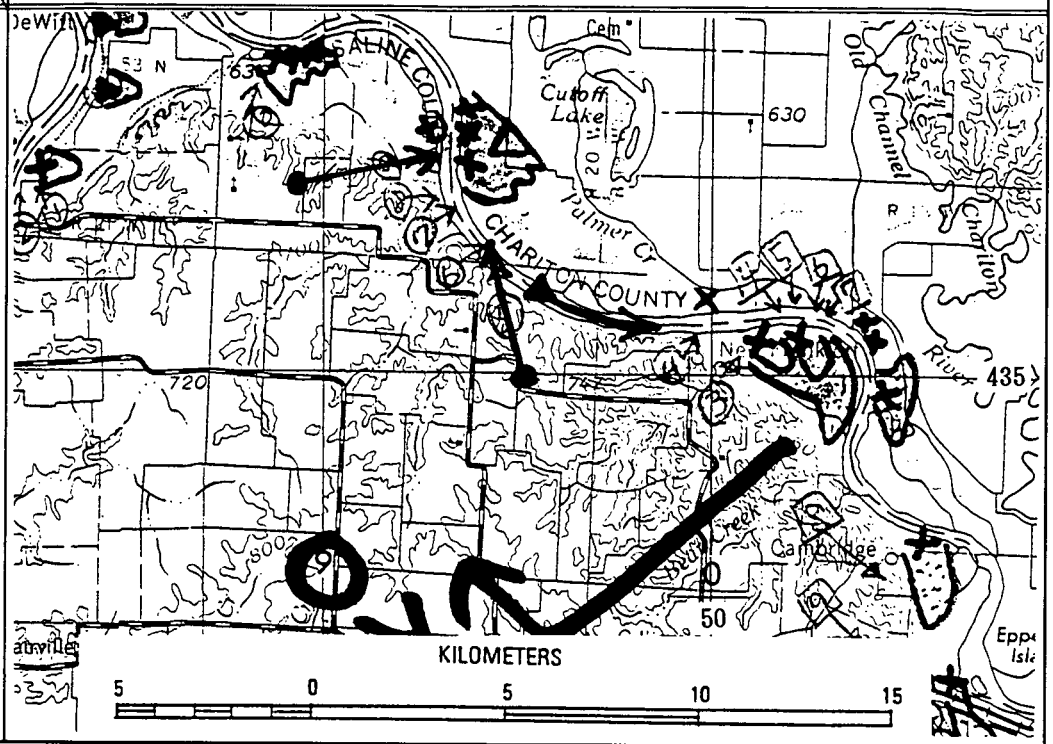
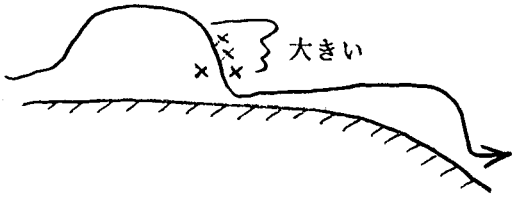
写真



Vol.
7-5

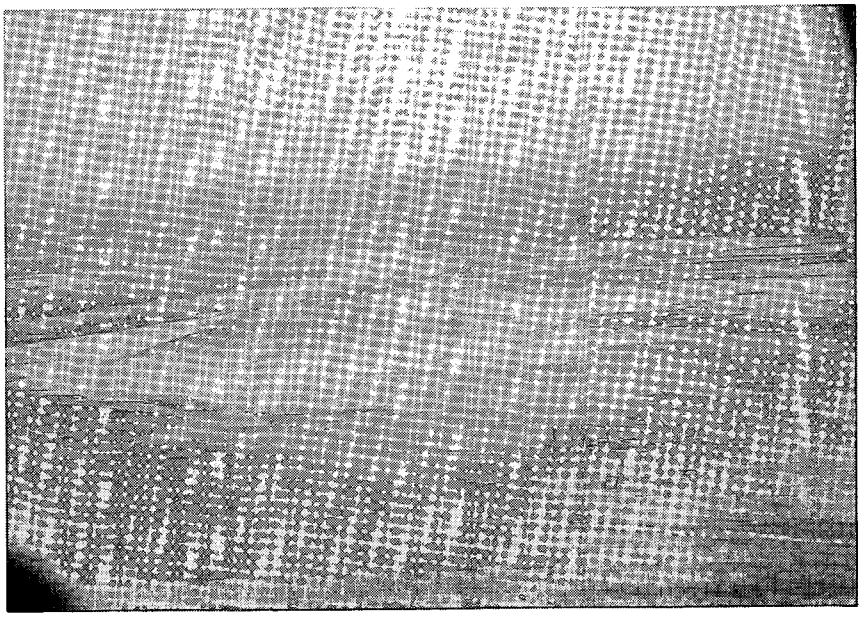


Vol.
7-9

	Ⅸ(1)-12　Missouri 川右岸　Cutoff Lake 近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(1)－A，F
観察メモ	 • 低水路幅　400～500m。 • 高水敷あり。 • 高水敷前面に幅の狭い線状樹木帯あり。

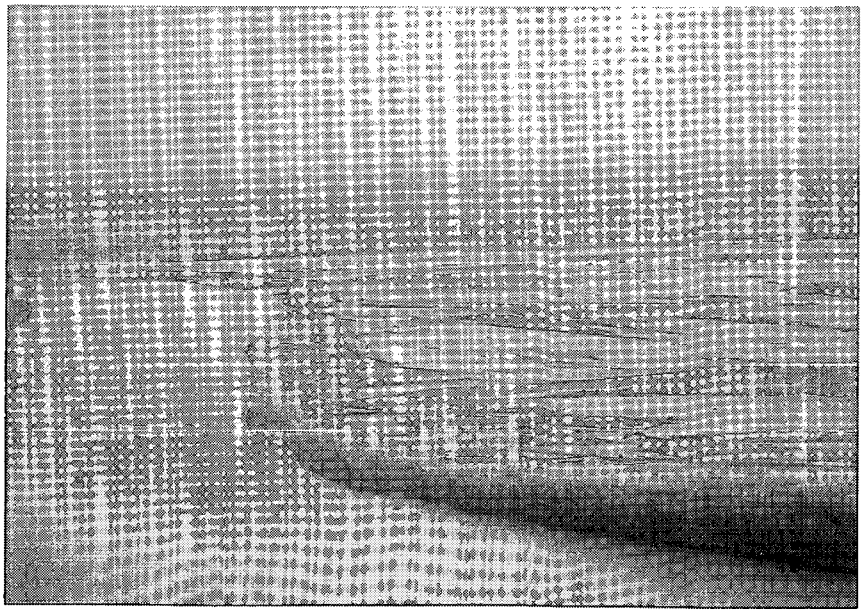
Ⅸ(2)-1　Missouri 川左岸　(Marion)　Jefferson City 上流20km程

写

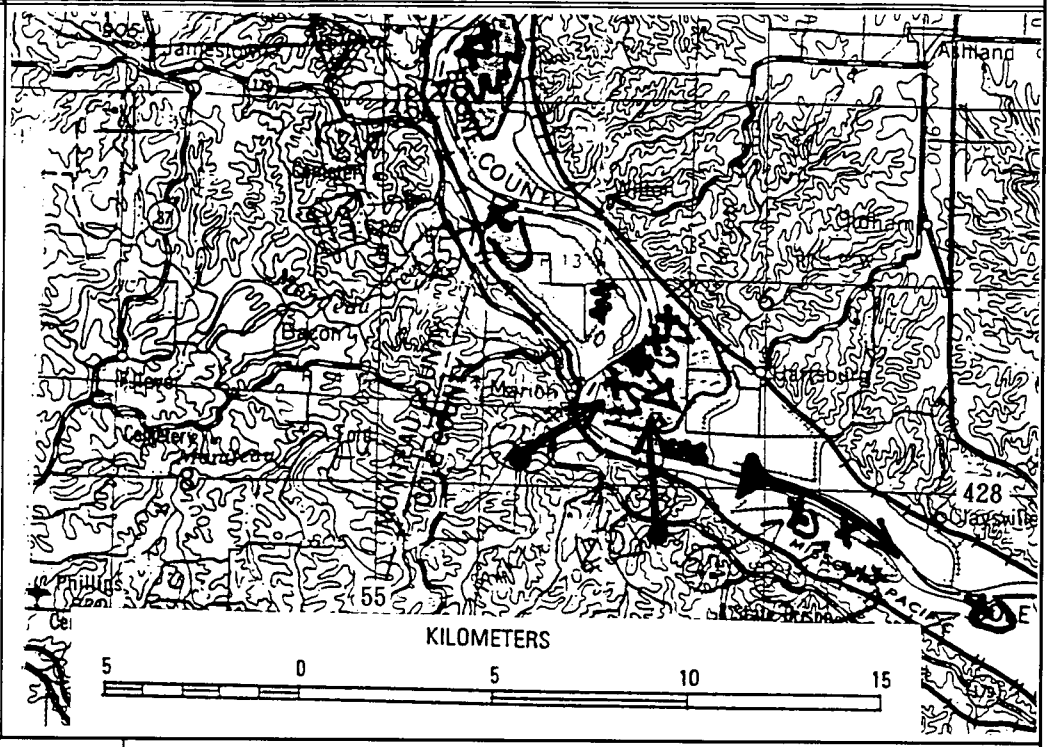
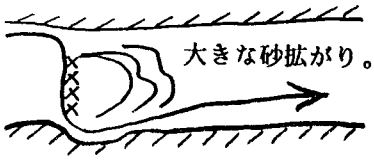


Vol.
5-33

真

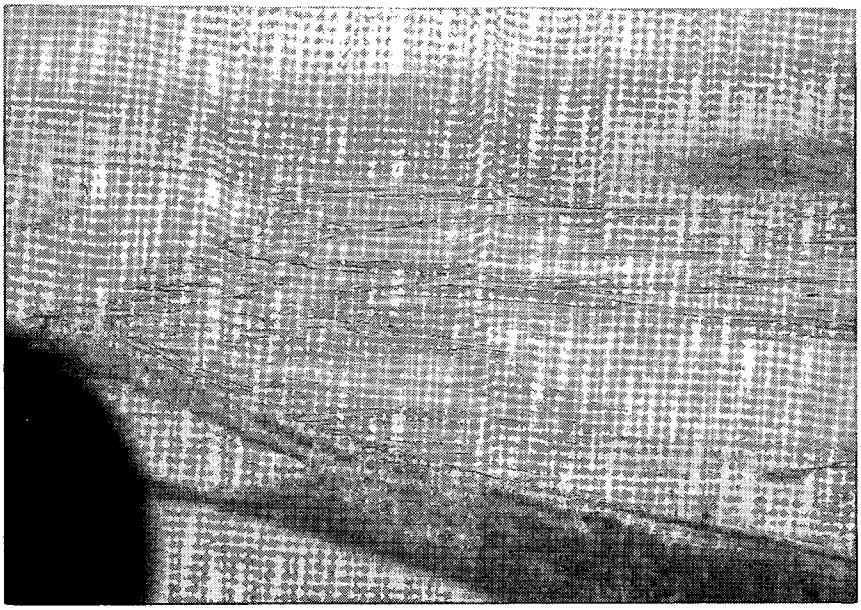


Vol.
5-34

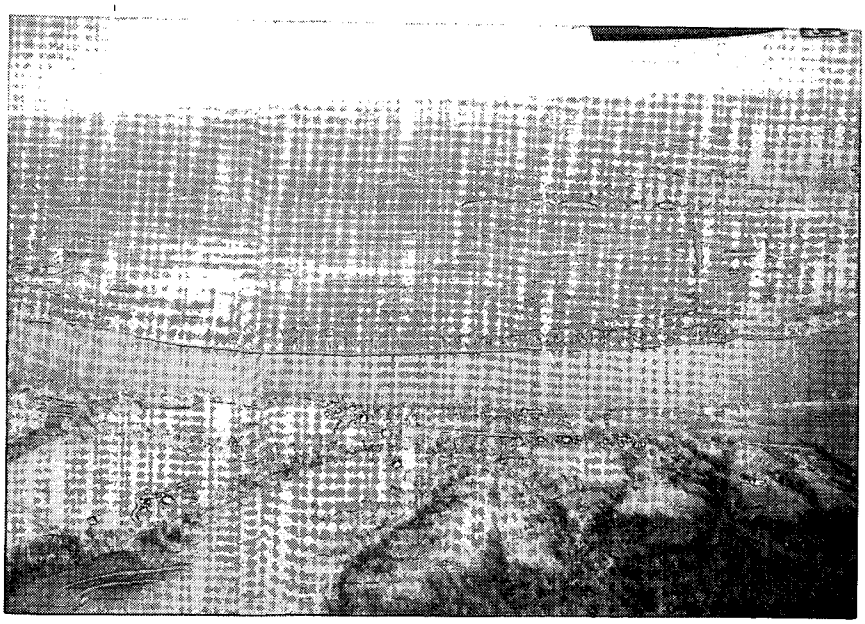
	Ⅸ(2)-1　Missouri 川左岸　(Marion)　Jefferson City 上流20km程
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－F
観察メモ	 • 低水路幅　500m程。 • 河岸に幅の狭い線状の樹木帯あり。

Ⅸ(2)-2 Missouri 川左岸 Easley 近く

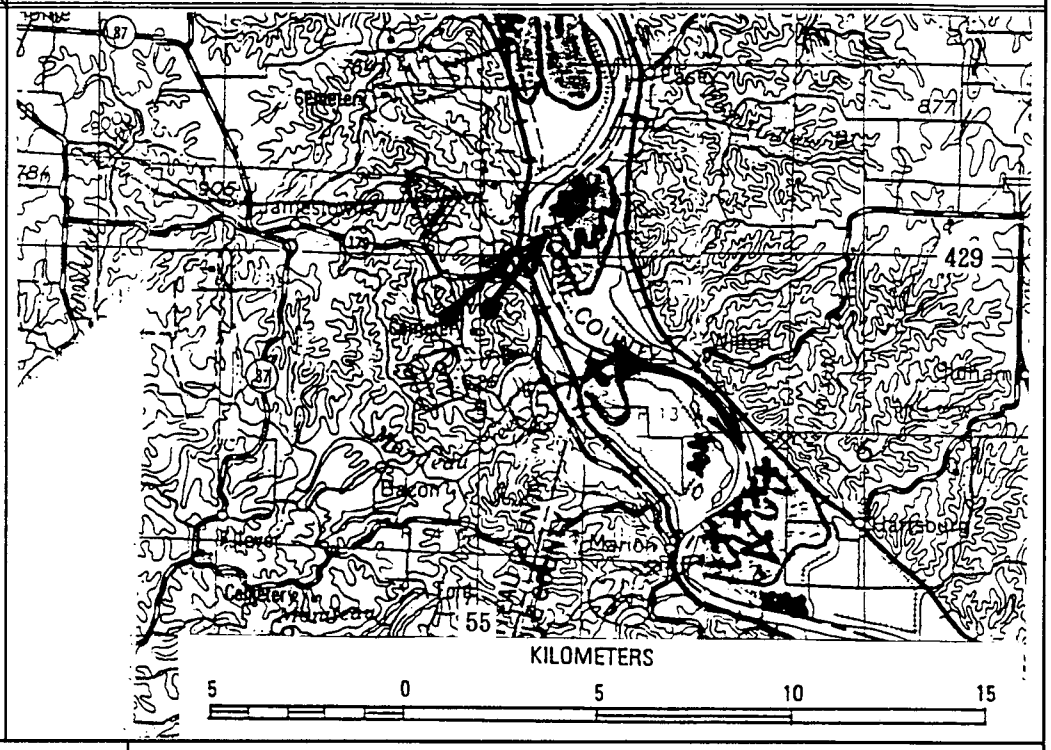
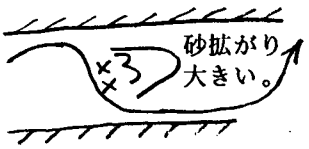
写真



Vol.
5-36



Vol.
10-18

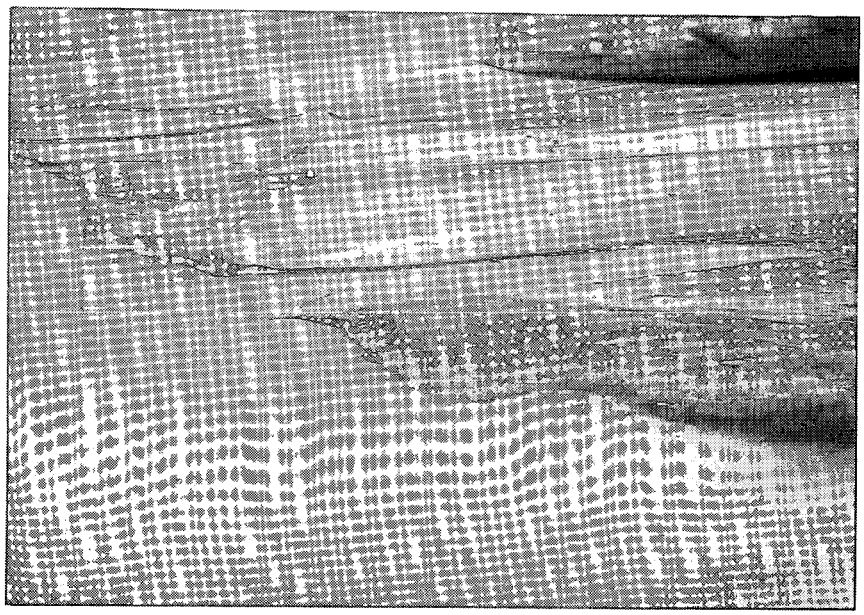
	Ⅸ(2)-2　Missouri 川左岸　Easley　近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－A，G
観察メモ	 • 低水路幅　300～400m。

Ⅸ(2)-3　Missouri 川左岸　Petersburg 近く

写真



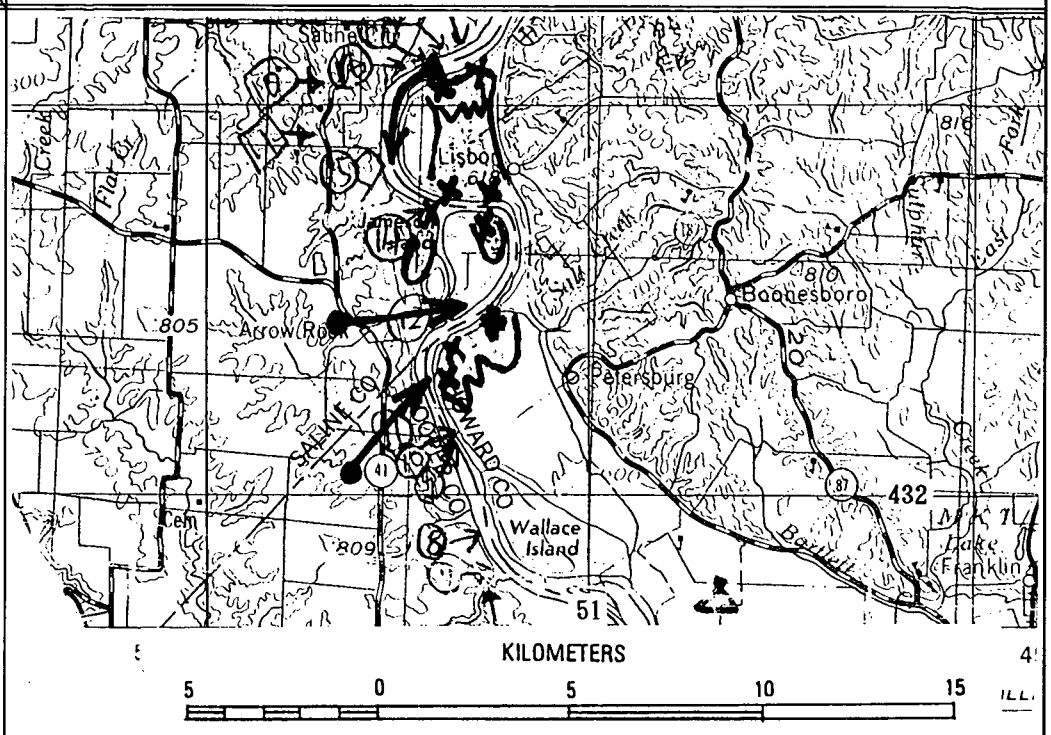
Vol.
6-11



Vol.
6-12

IX(2)-3　Missouri 川左岸　Petersburg 近く

位置図



破堤形態　IX(2)－F

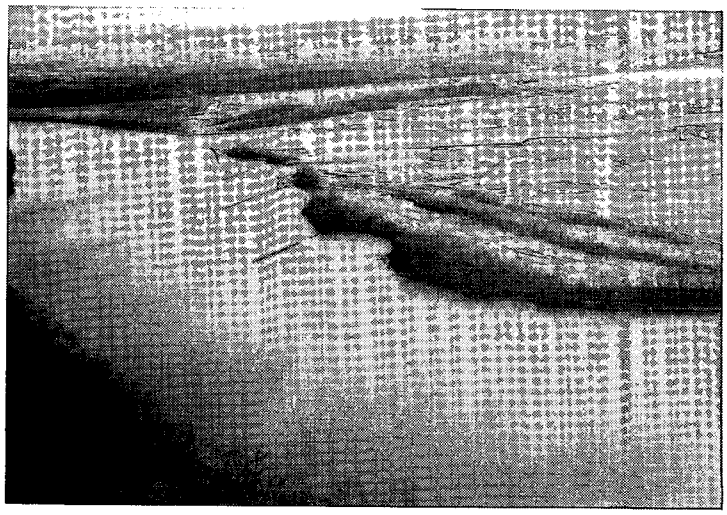
観察メモ



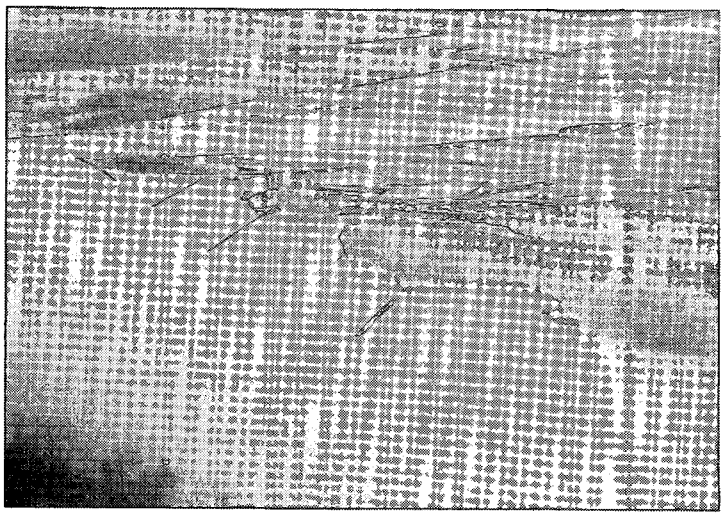
- 低水路幅　300m程度。
- 河岸にまばらな線状樹木あり。

Ⅸ(2)-4　Missouri 川左岸　Arrow Rock 近く

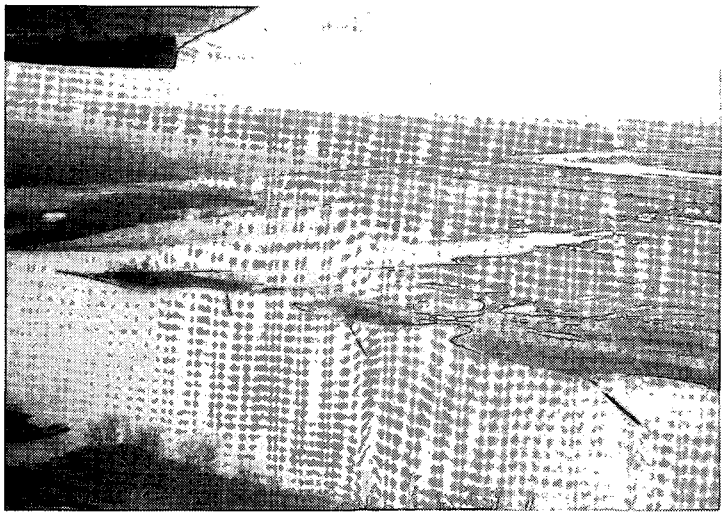
写真



Vol.
6-16



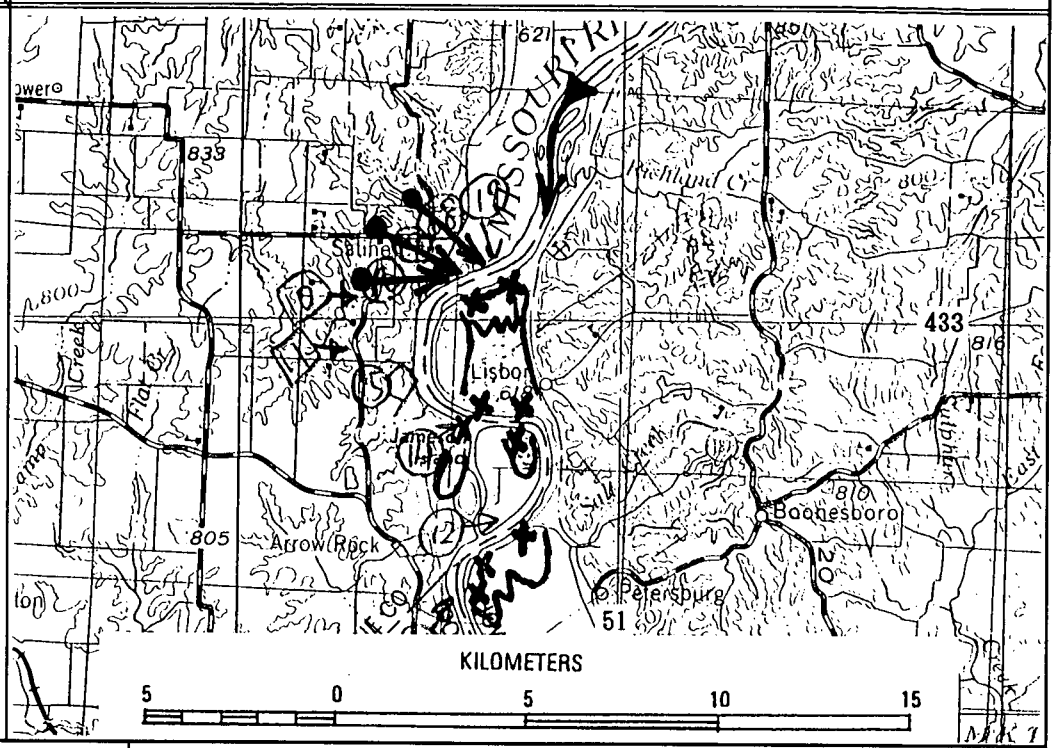
Vol.
6-17



Vol.
6-18

Ⅸ(2)-4　Missouri 川左岸　Arrow Rock 近く

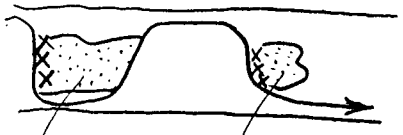
位置図



破堤形態　Ⅸ(2)－G

観察メモ

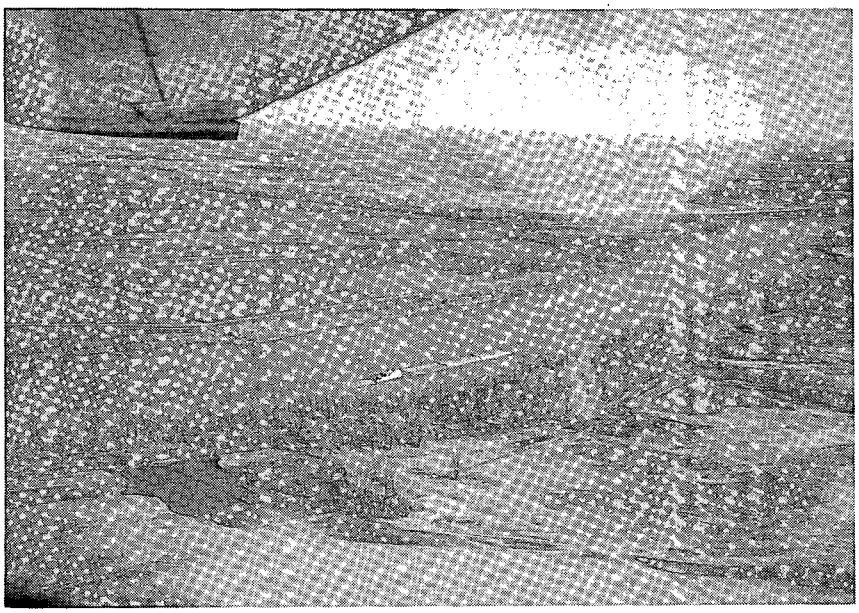




- 低水路幅　500m程度。
- 河岸に幅の狭い線状の樹木列あり。

Ⅸ(2)-5　Missouri 川右岸　Brunswick 近く

写真



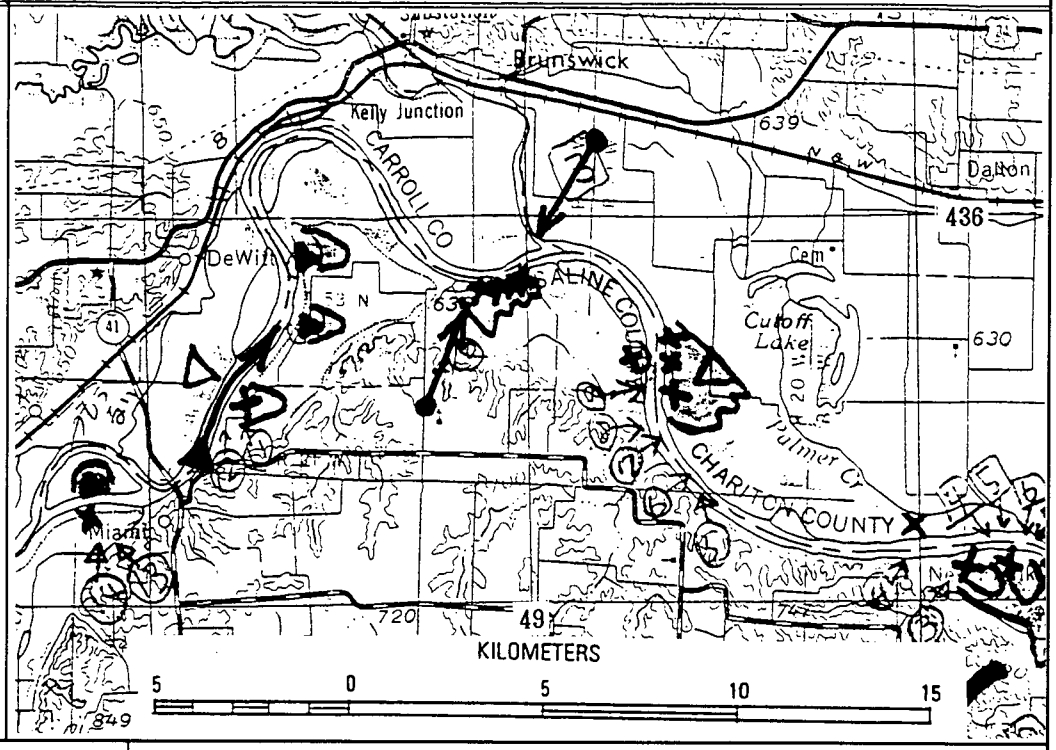
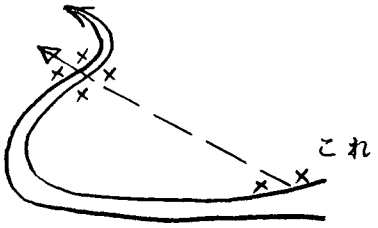
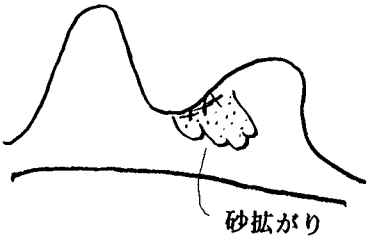
これ

Vol.
7-10



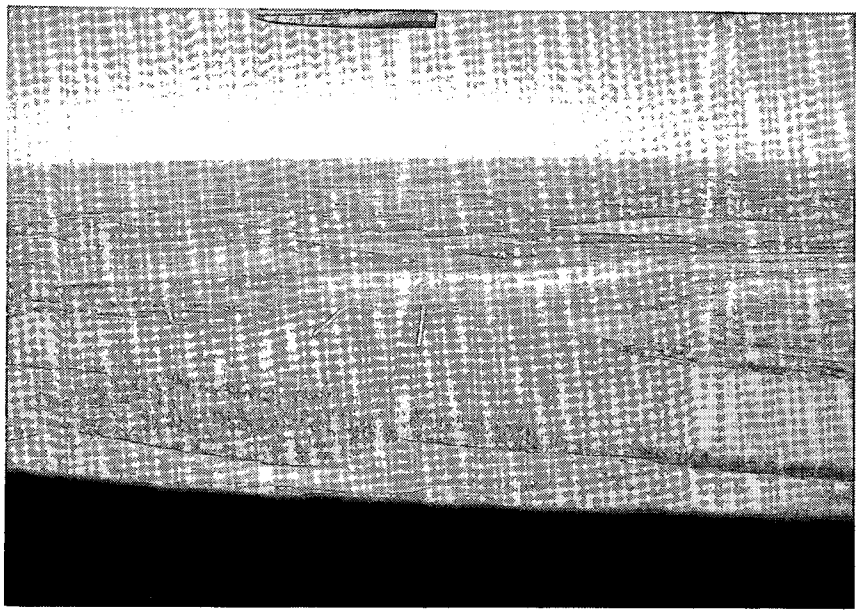
Vol.
10-3

これ

	Ⅸ(2)-5　Missouri 川右岸　Brunswick 近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－A、B、G
観察メモ	  蛇行を短略して水が走り、 堤防を壊す様子が見える。 • 低水路幅　300m程度。 • 破堤箇所にはやや幅の狭い樹木帯があったようだ。

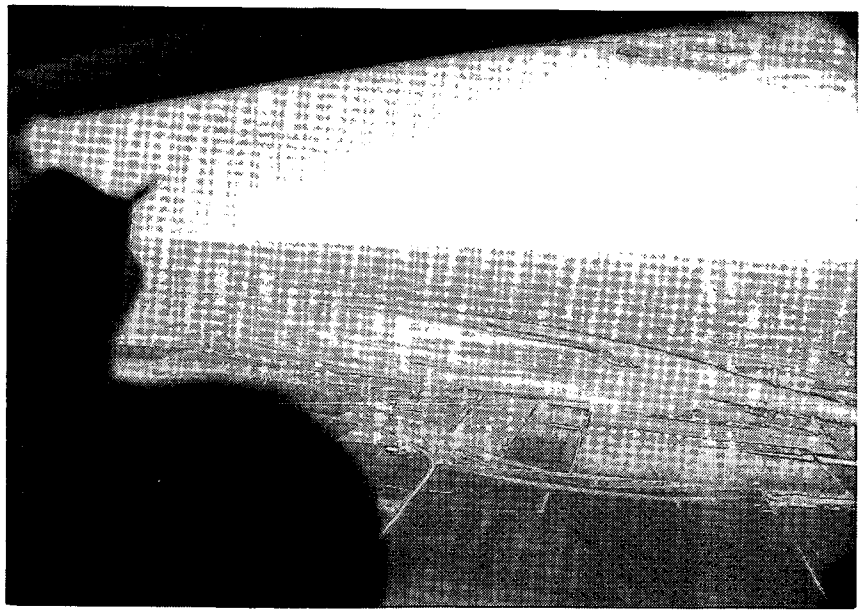
Ⅸ(2)-6 Missouri 川左岸　Orrick 近く

写



Vol.
7-25

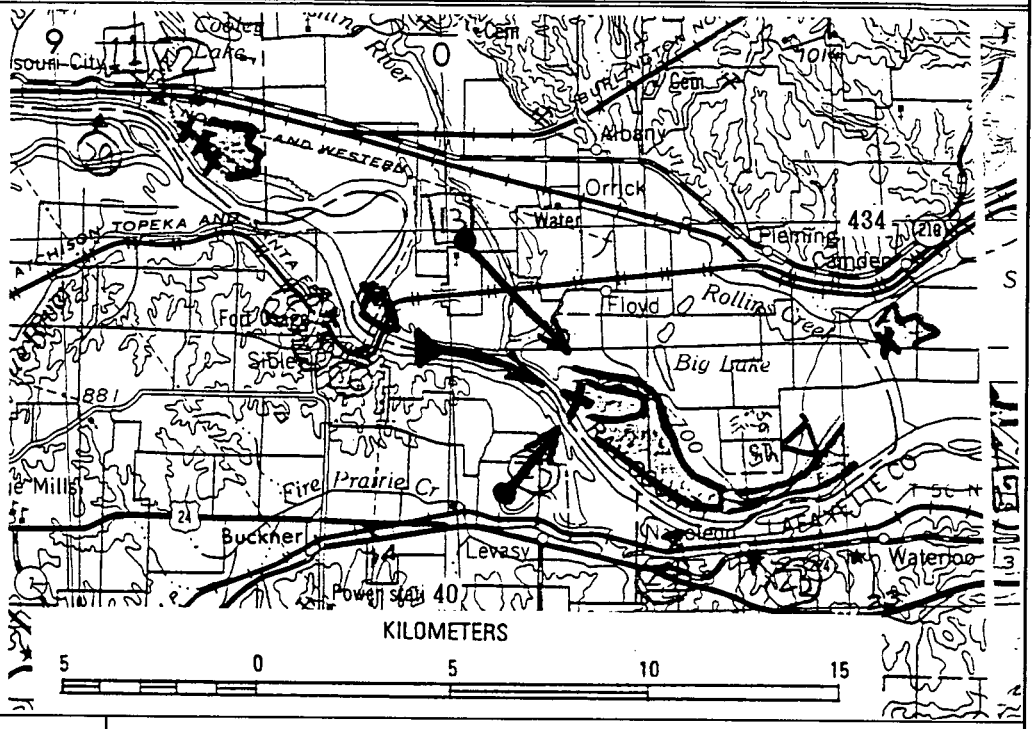
真



Vol.
9-13

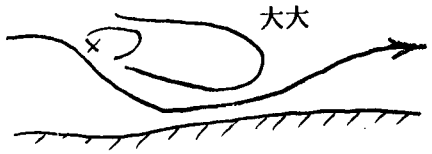
Ⅸ(2)-6　Missouri 川左岸　Orrick 近く

位置図

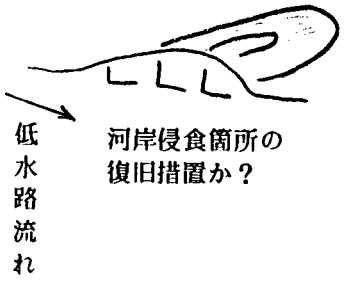


破堤形態　Ⅸ(2)－G

観察メモ



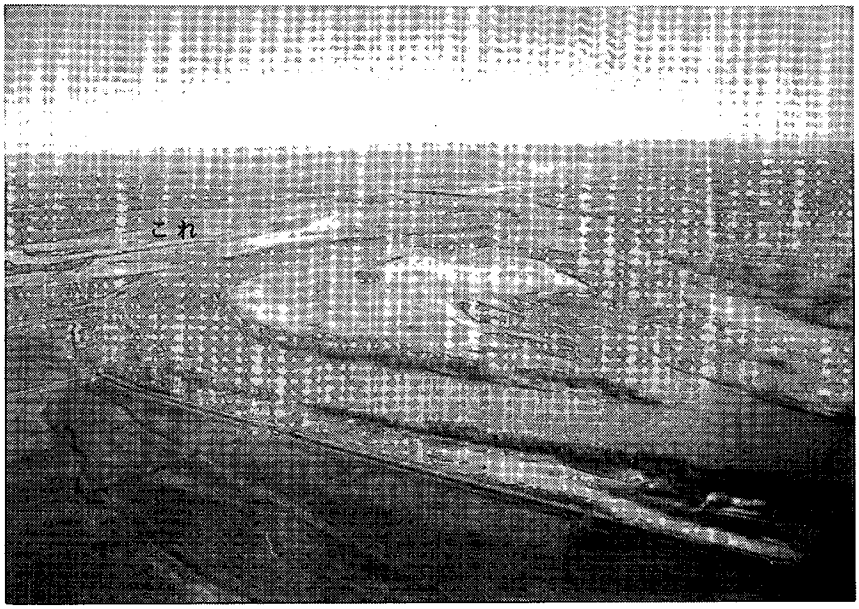
大規模な河岸侵食を伴う。



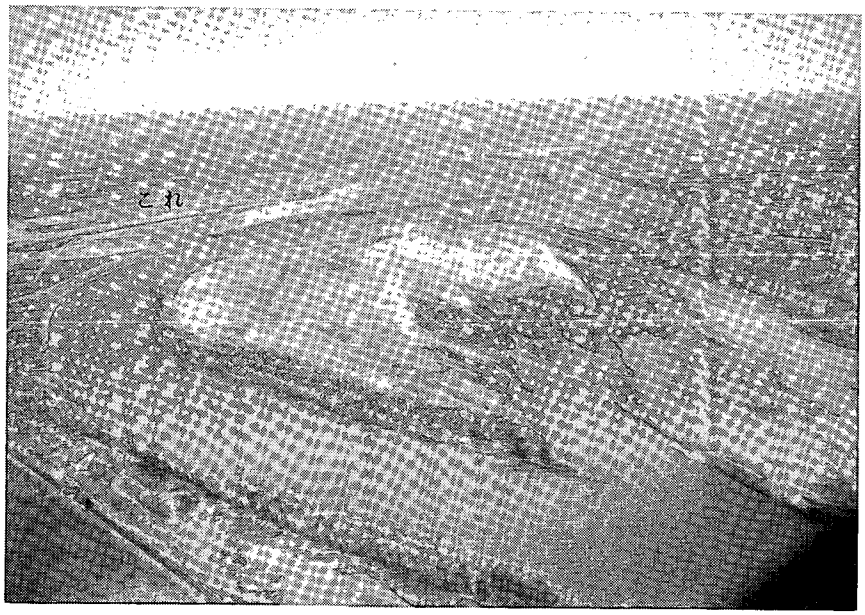
- 低水路幅　400～500m。
- 対岸寄りに中州あり。
- 幅の狭い線状の樹木帯があったようだ。

Ⅸ(2)-7　Missouri 川左岸　New Frankfort 近く

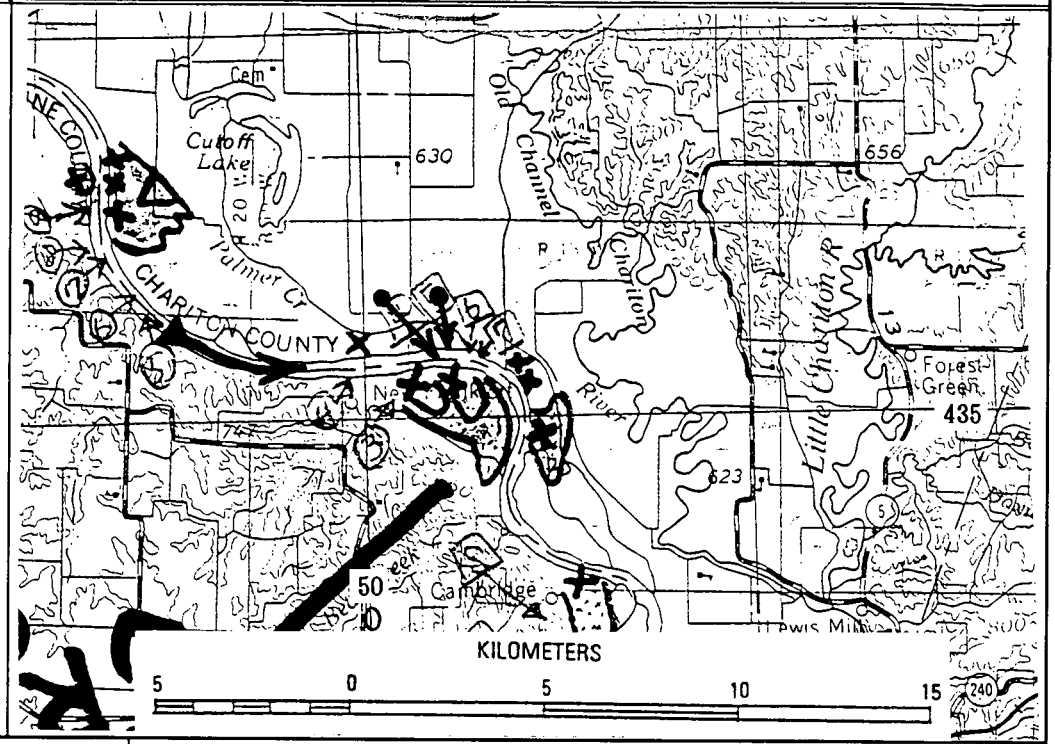
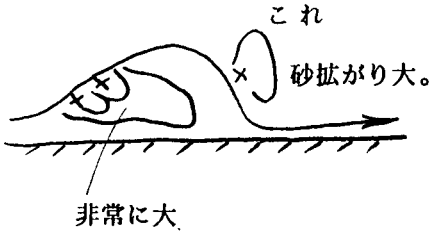
写真



Vol.
10-4

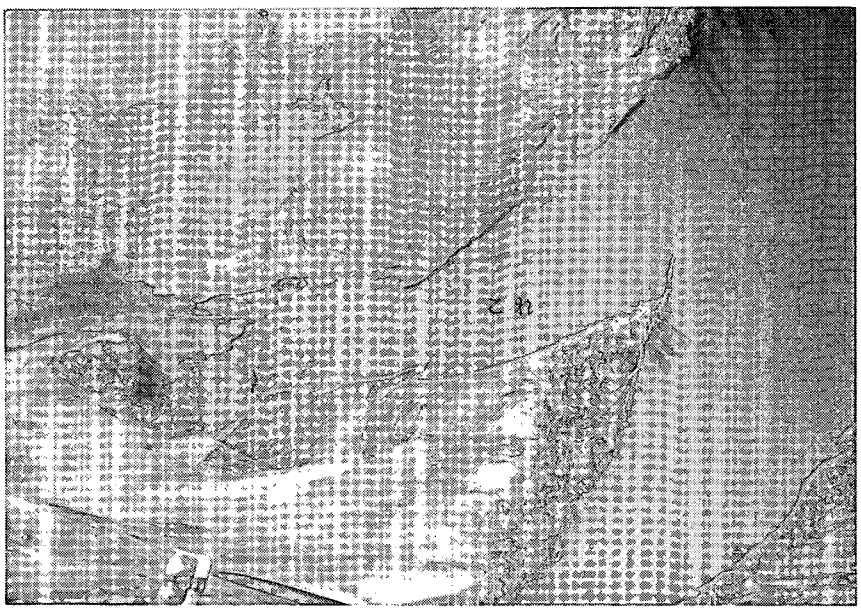


Vol.
10-5

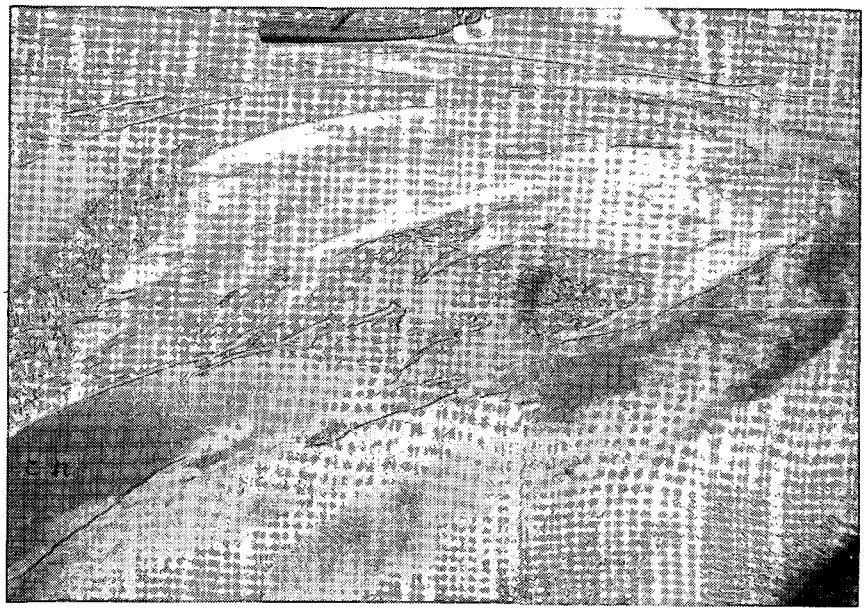
	Ⅸ(2)-7　Missouri 川左岸　New Frankfort 近く
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－A，B，F
観察メモ	 • 低水路幅　300m程度。 • 低水路肩だった位置の破堤口に捨石工の残存物らしき線が少し見える。

Ⅸ(2)-8 Missouri 川右岸　New Frankfort

写真



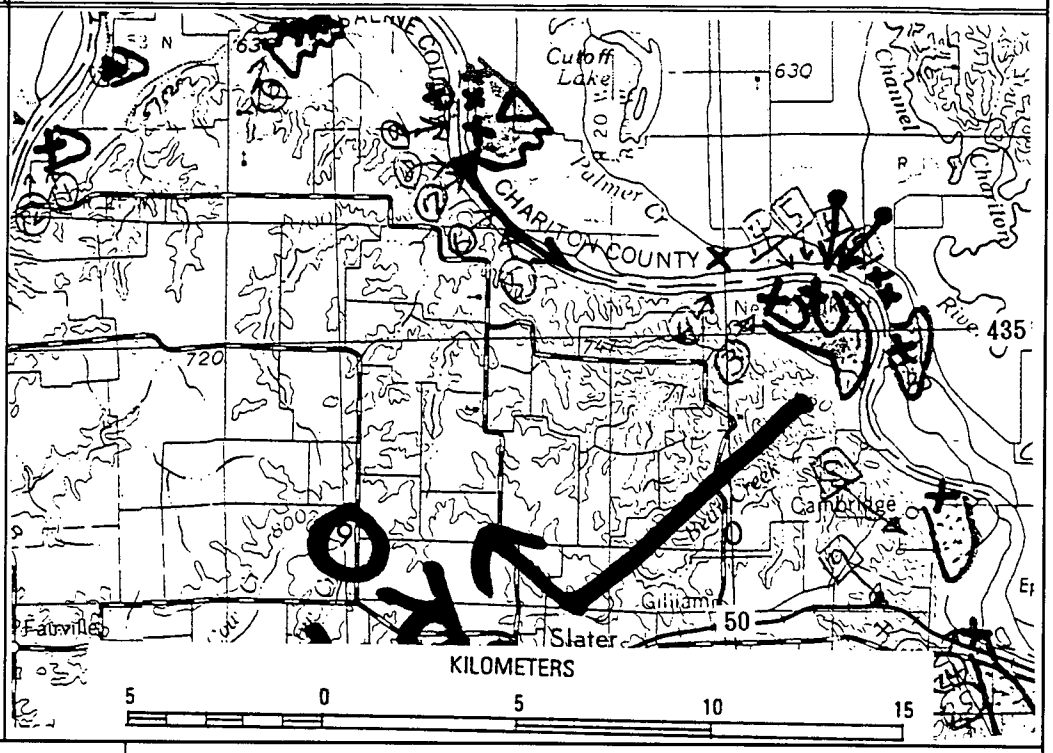
Vol.
10-6



Vol.
10-7

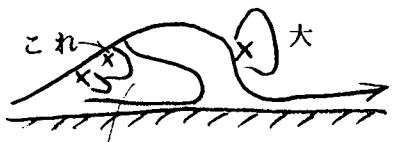
Ⅸ(2)-8　Missouri 川右岸　　New Frankfort

位置図



破堤形態　Ⅸ－A，B，G

観察メモ

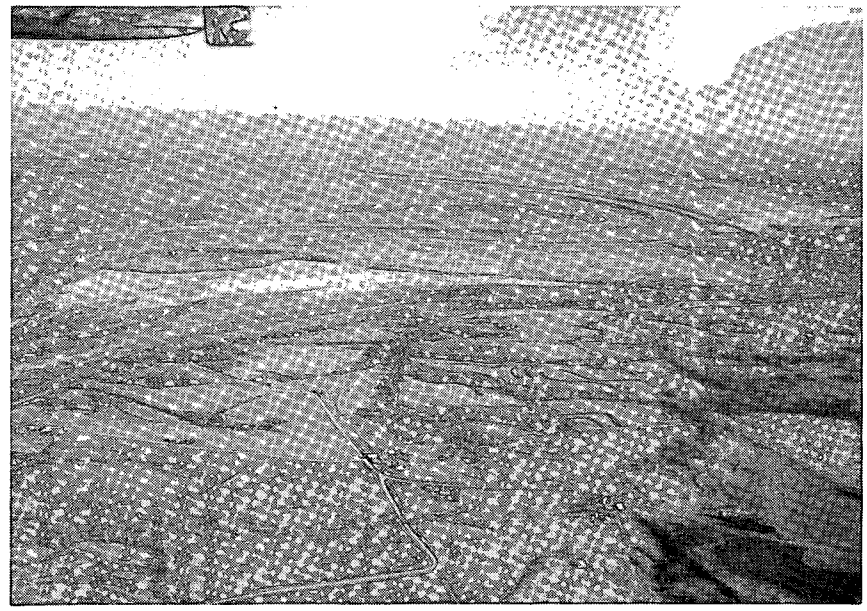


砂拡がり非常に大。

- 低水路幅　約500m。
- 砂拡がり域は、3.5km×1.8km 程度。
- 落堀の周囲が階段状になっている高水敷土の粘着性によるものか。

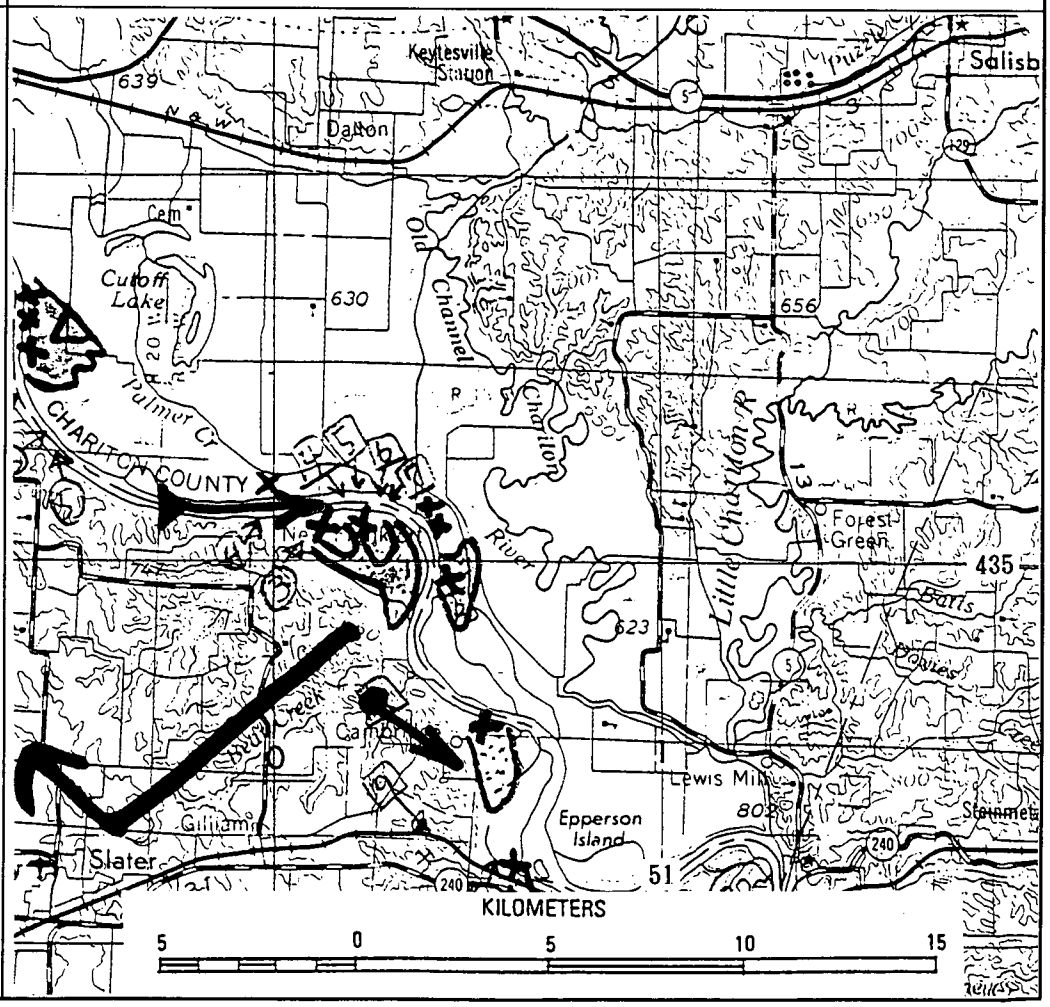
Ⅸ(2)-9　Missouri 川右岸　Cambridge 近く

写真



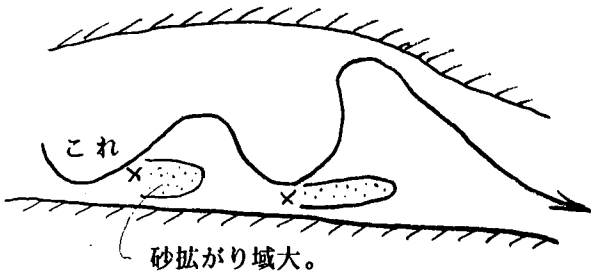
Vol.
10-8

位置図



	Ⅸ(2)-9　Missouri 川右岸　Cambridge 近く
破堤形態	Ⅸ(2)－A，B，G

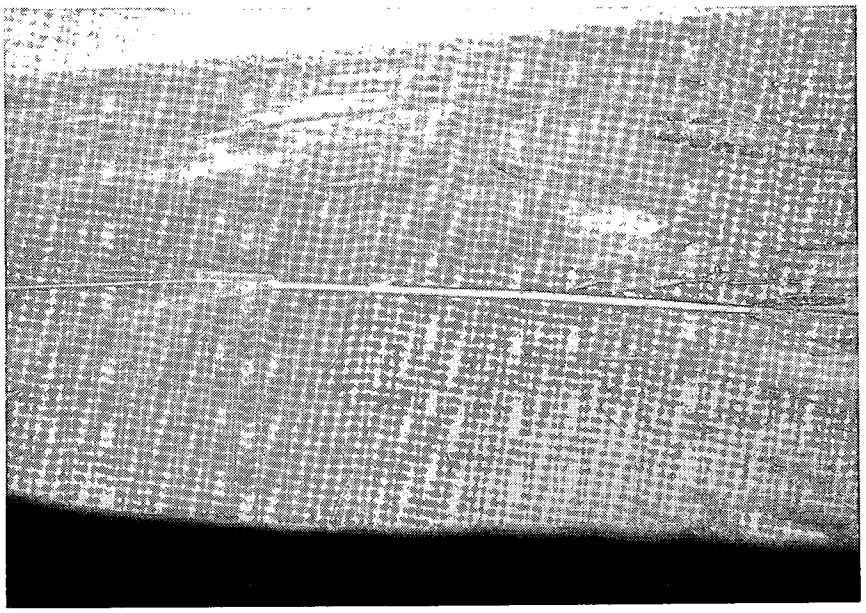
観察メモ



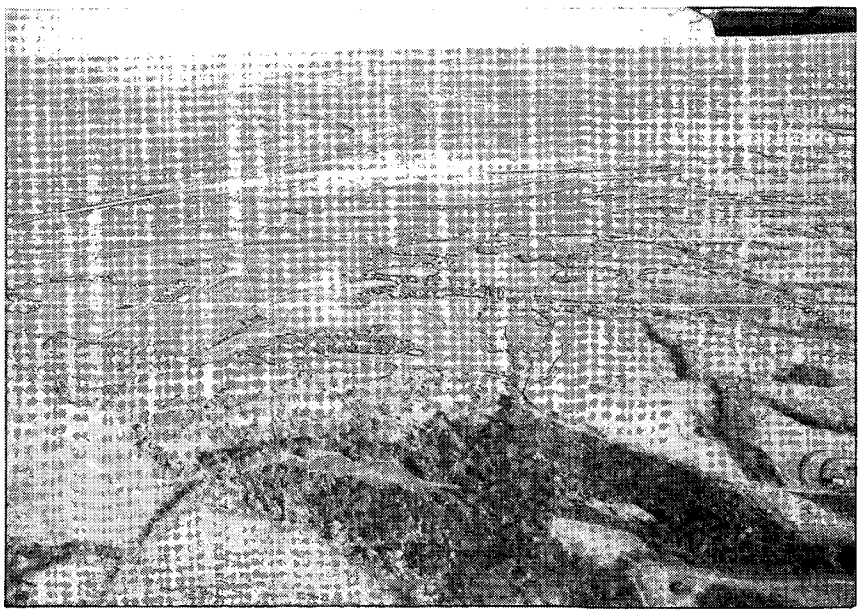
- 低水路幅　300～400m。
- うすい樹木帯が破堤箇所の少し下流にはあるが、破堤箇所にあったかは不明。

Ⅸ(2)-10　Missouri 川右岸　Epperson Island の対岸

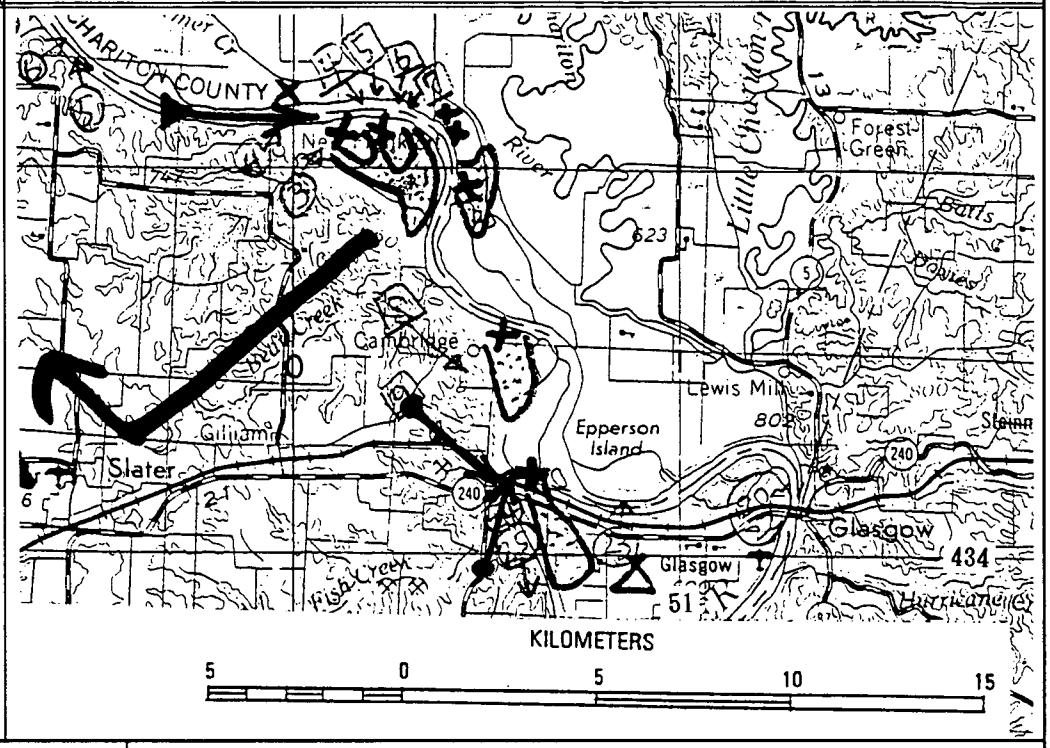
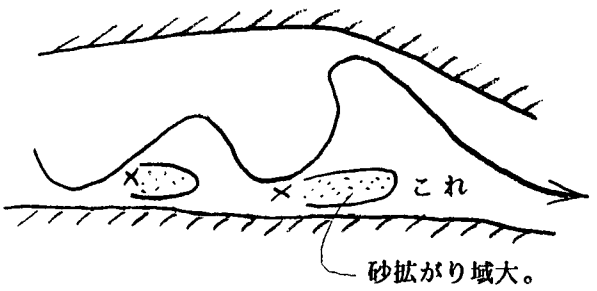
写真



Vol.
6-24



Vol.
10-9

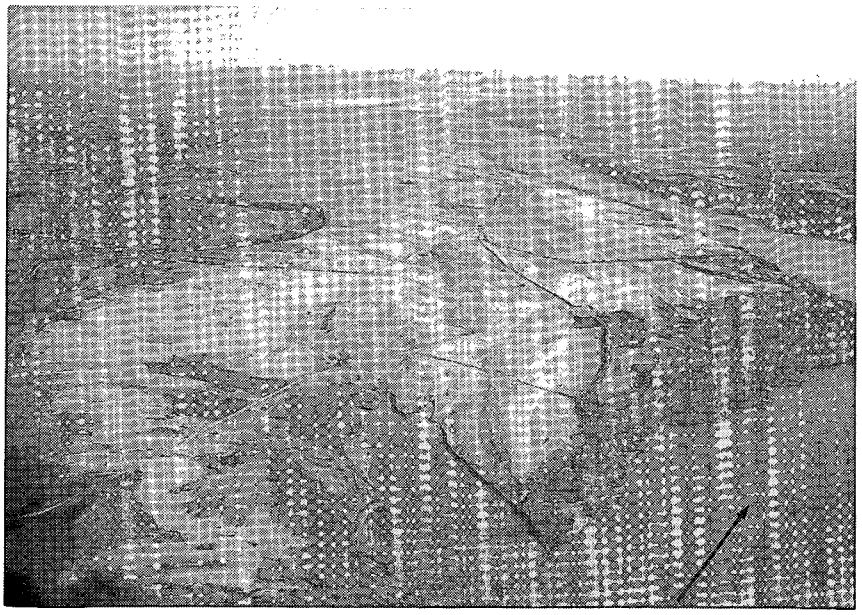
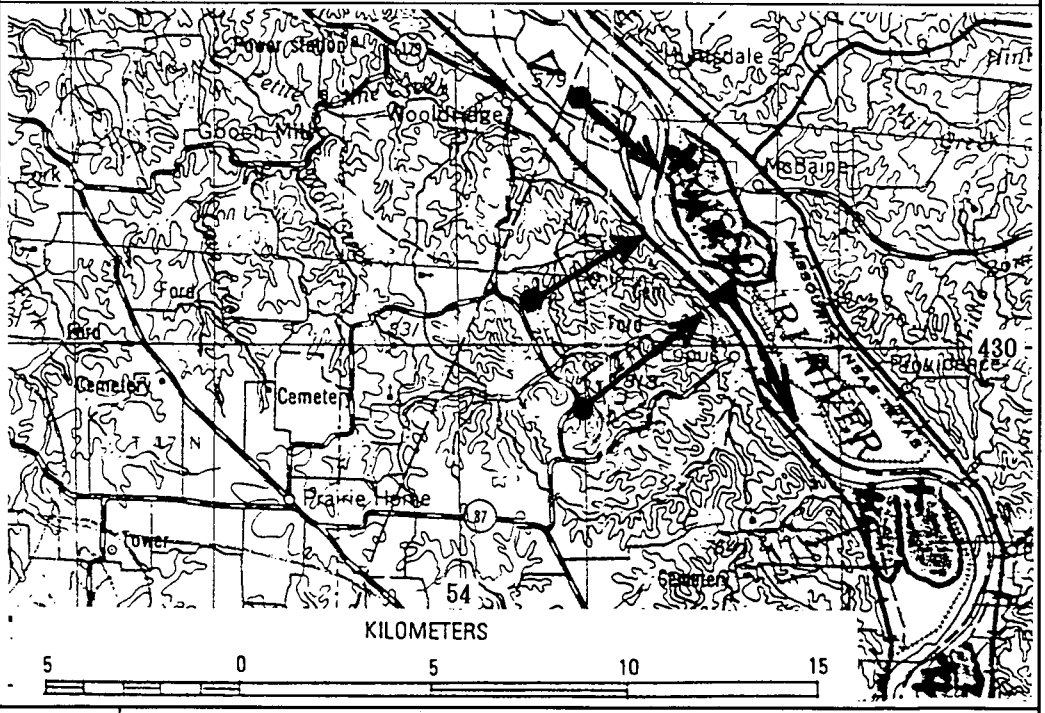
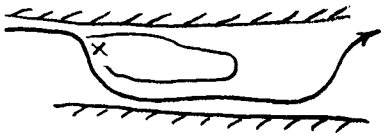
	Ⅸ(2)-10　Missouri 川右岸　Epperson Island の対岸
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－A，F
観察メモ	

写真

Ⅸ(2)-11　Missouri 川左岸　Huntsdale 近く

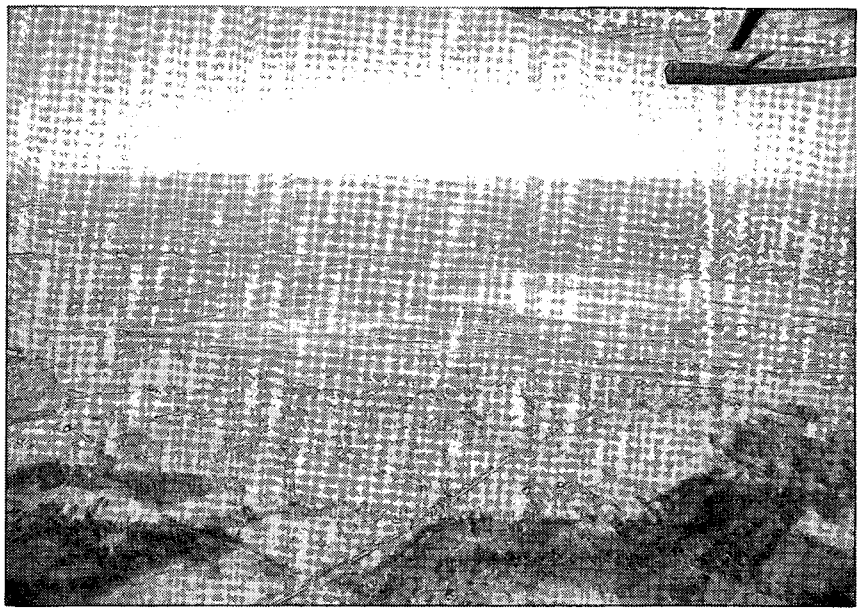


Vol.
10-15,16

	Ⅸ(2)-11　Missouri 川左岸　Huntsdale 近く
写真	 Vol. 10-13
位置図	
破堤形態	Ⅸ(2)－A，B，G
観察メモ	 非常に大きい砂拡がり域 • 低水路幅　200～300m。 • やや幅の狭い樹木帯あり。

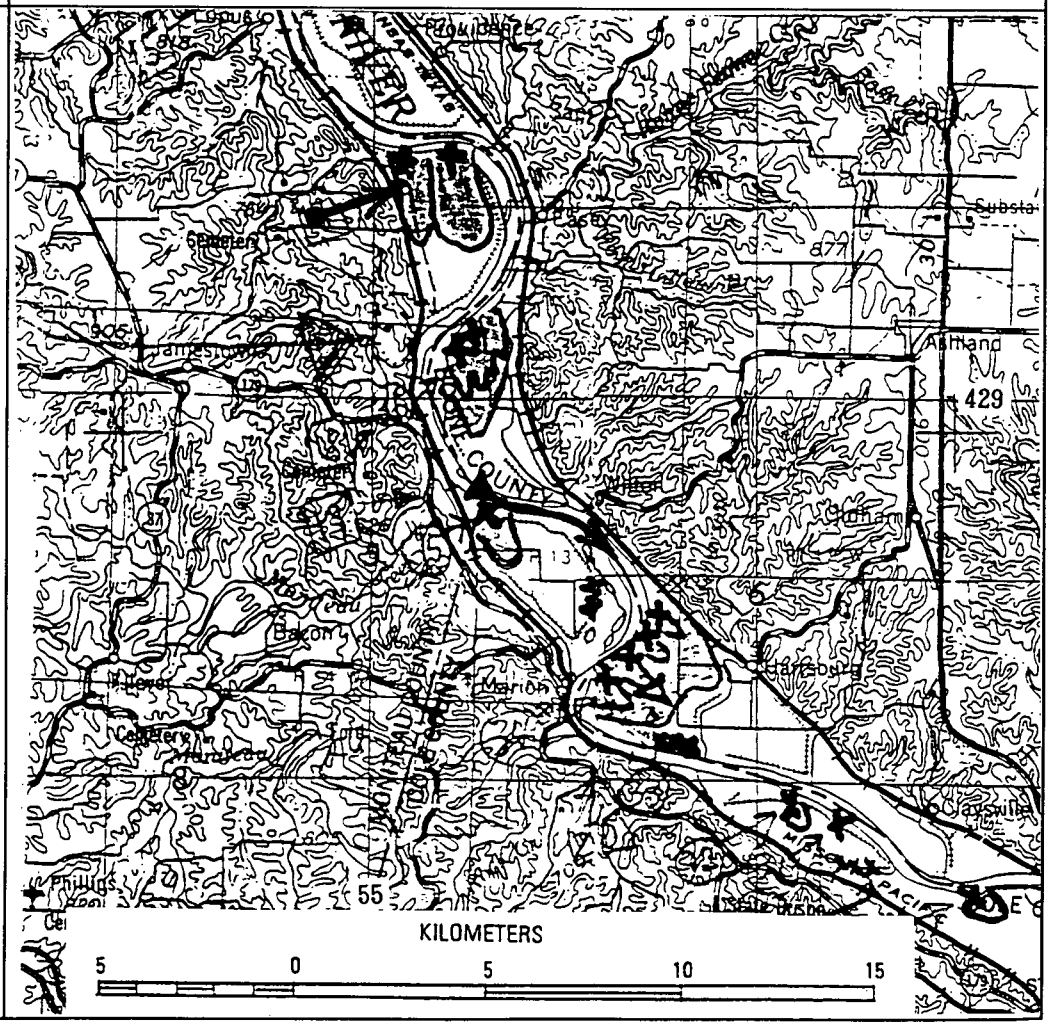
Ⅸ(2)-12　Missouri 川右岸　Easley　近く

写真



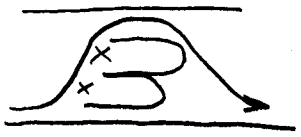
Vol.
10-17

位置図



	Ⅸ(2)-12　Missouri 川右岸　Easley 近く
破堤形態	Ⅸ(2)－G

観察メモ

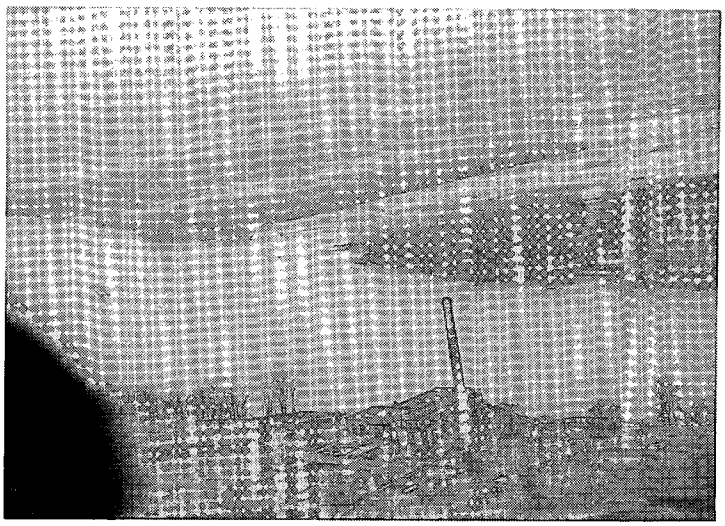


非常に大きい砂拡がり域

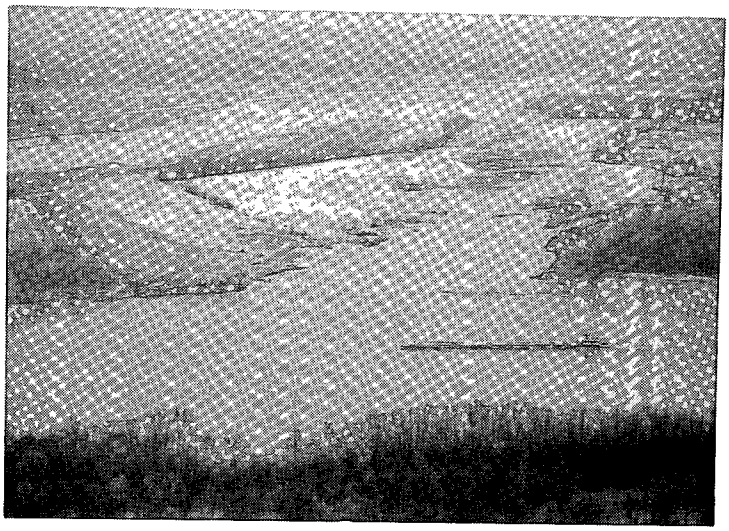
• 低水路幅　300m程度。

X-1　Missouri 川左岸　Catfish Island の上流側

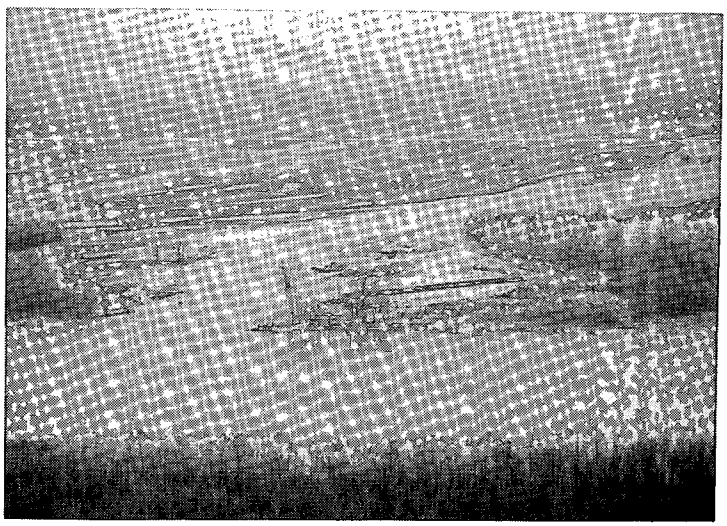
写真



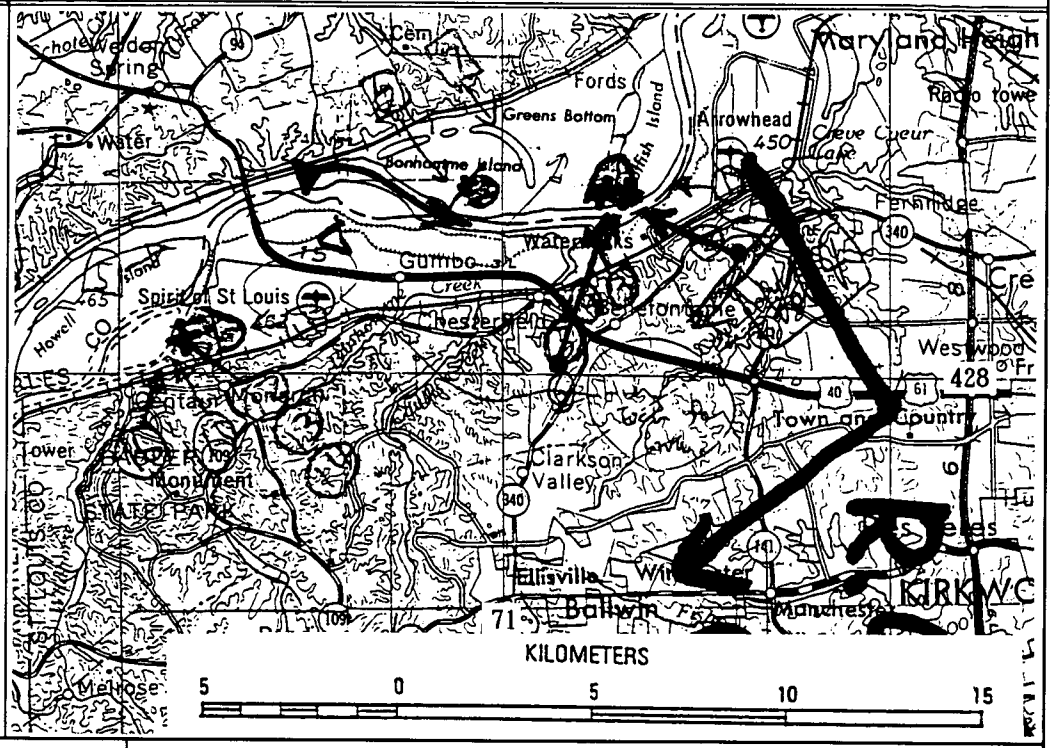
→ Vol. 4-2



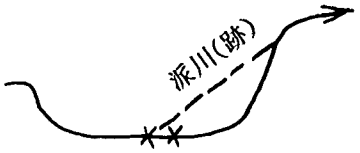
→ Vol. 4-4



→ Vol. 4-5

	X-1 Missouri 川左岸 Catfish Island の上流側
位置図	
破堤形態	X－G

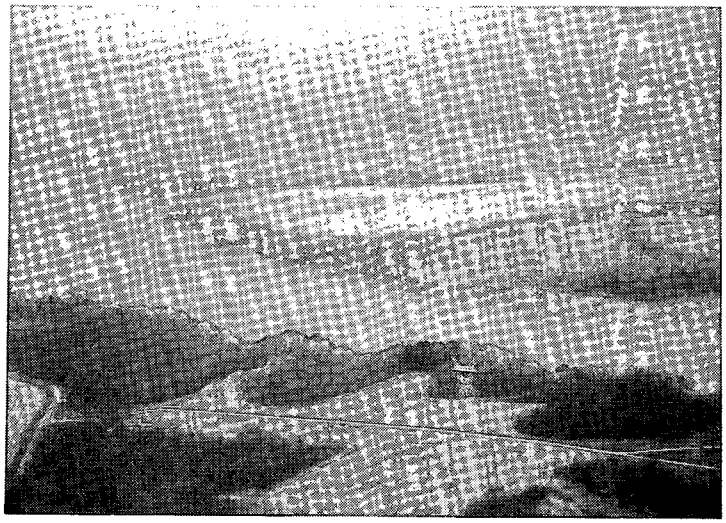
観察メモ



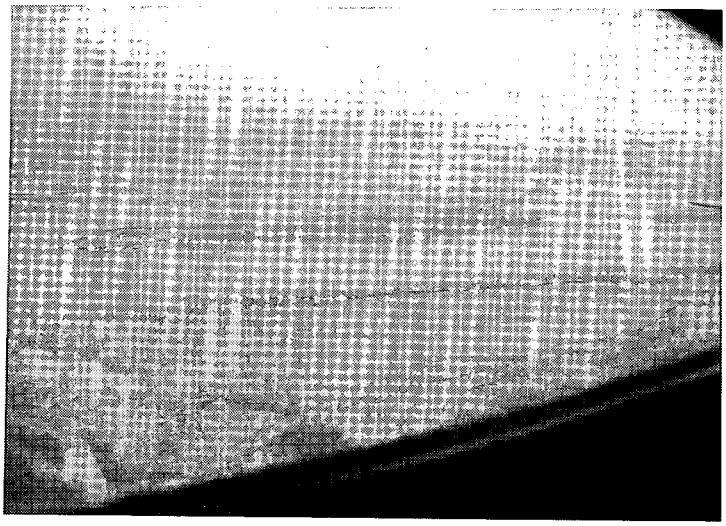
- 低水路幅 500～600m。
- 破堤箇所には堤防の低水路側に樹木帯はなかったようだ。

X-2 Missouri 川左岸　Honcock Bottom

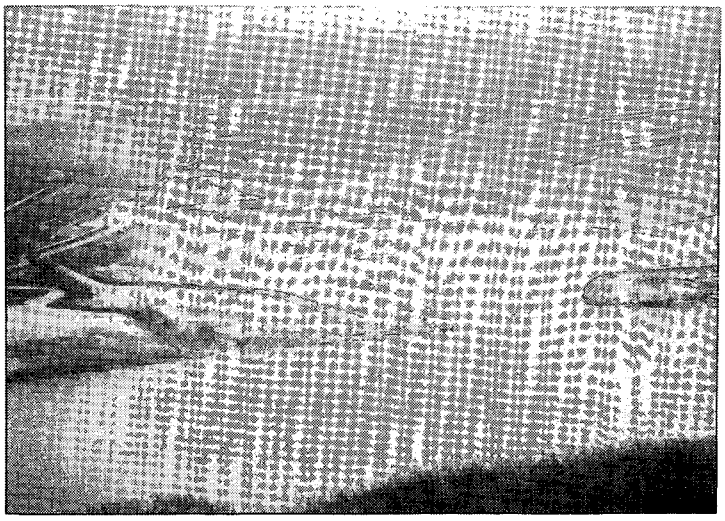
写真



Vol.
4-26



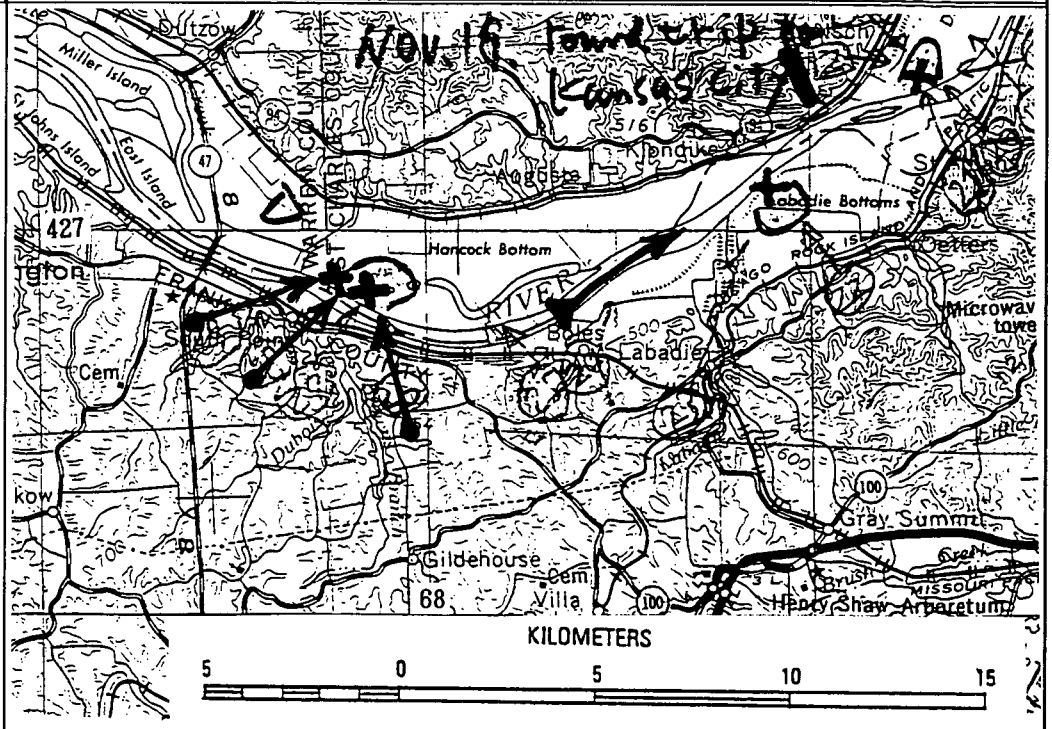
Vol.
4-28



Vol.
4-29

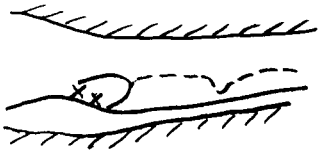
X-2 Missouri 川左岸　Honcock Bottom

位置図



破堤形態　X－F

観察メモ

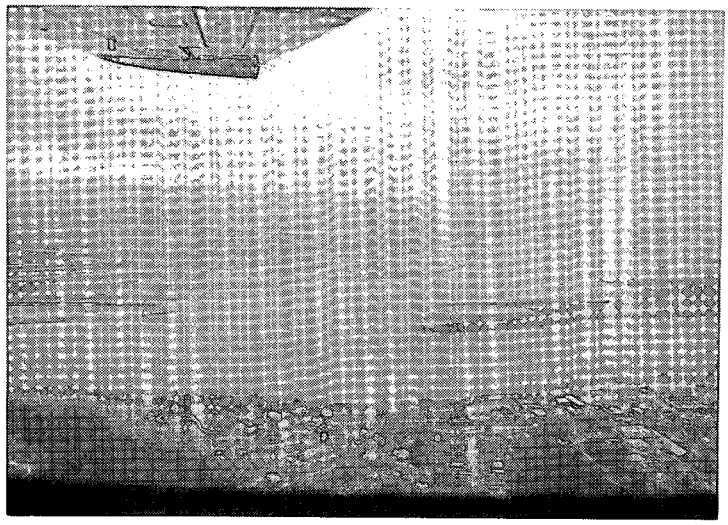


堤防前面に薄い樹木帯。

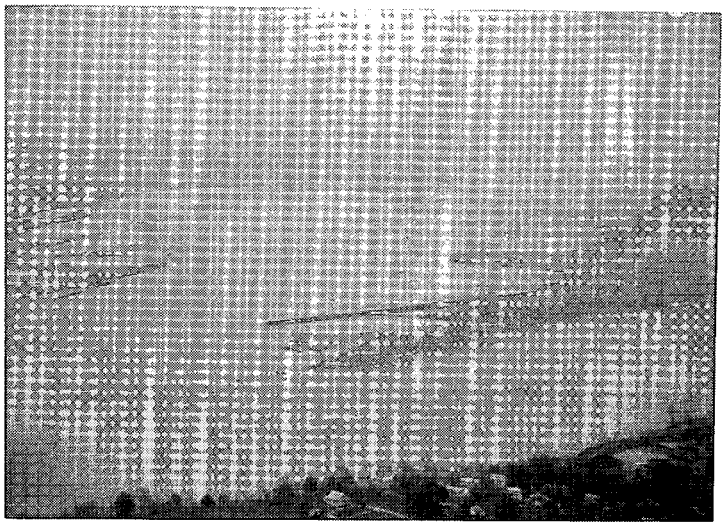
- 低水路幅 500m 程度。
- 下流側の破堤部には樹木帯はないようだ。

X-3 Missouri 川左岸　New Heaven

写真



Vol.
4-34



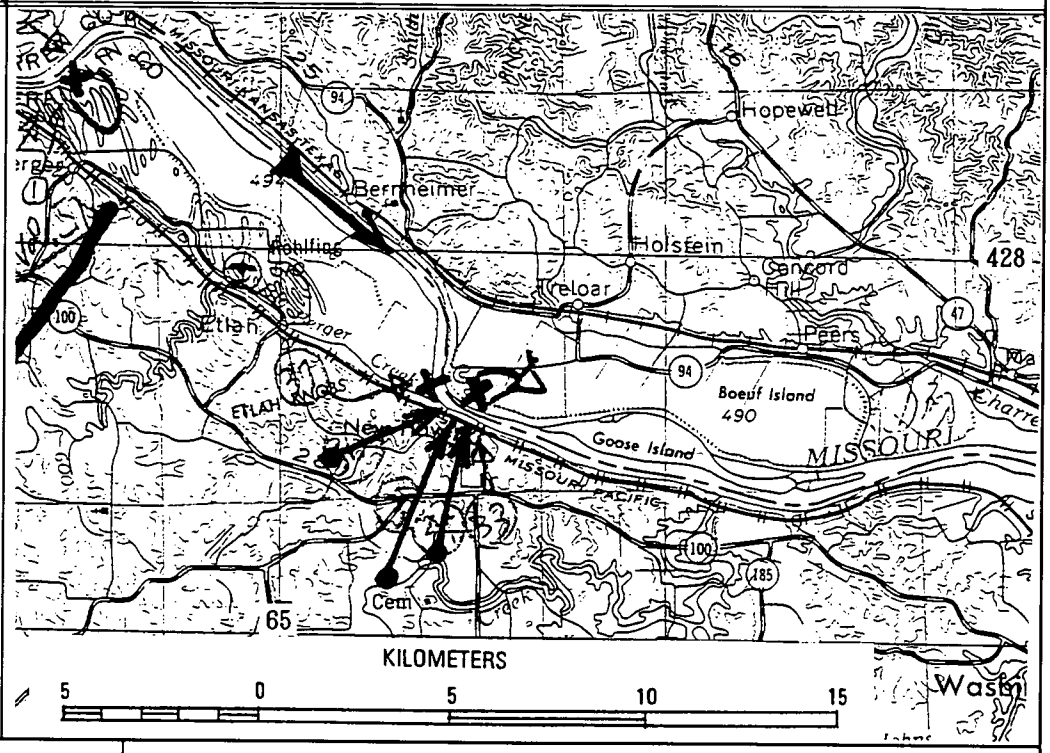
Vol.
4-35



Vol.
4-36

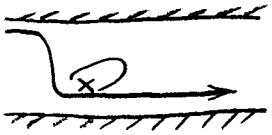
X-3 Missouri 川左岸　New Heaven

位置図



破堤形態	X－A，F

観察メモ

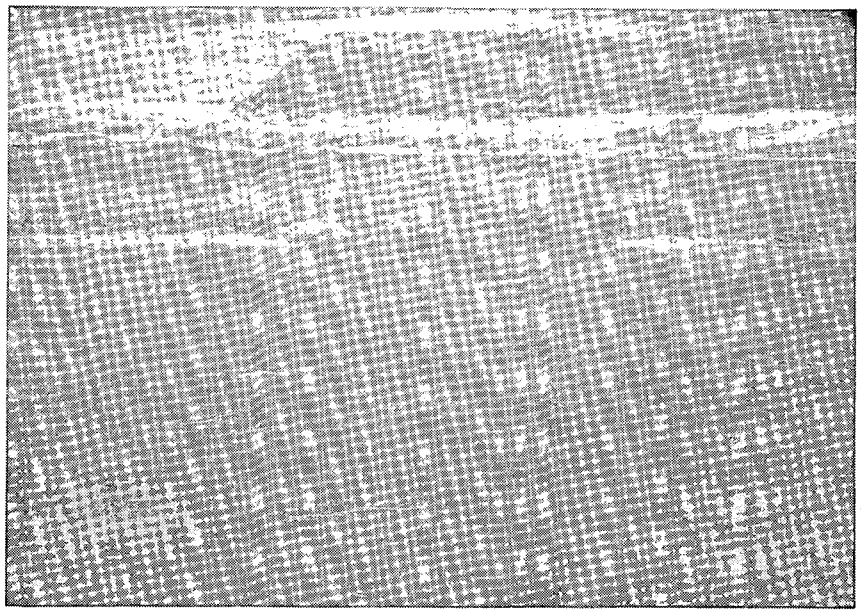


堤防前面に薄い樹木帯あり。

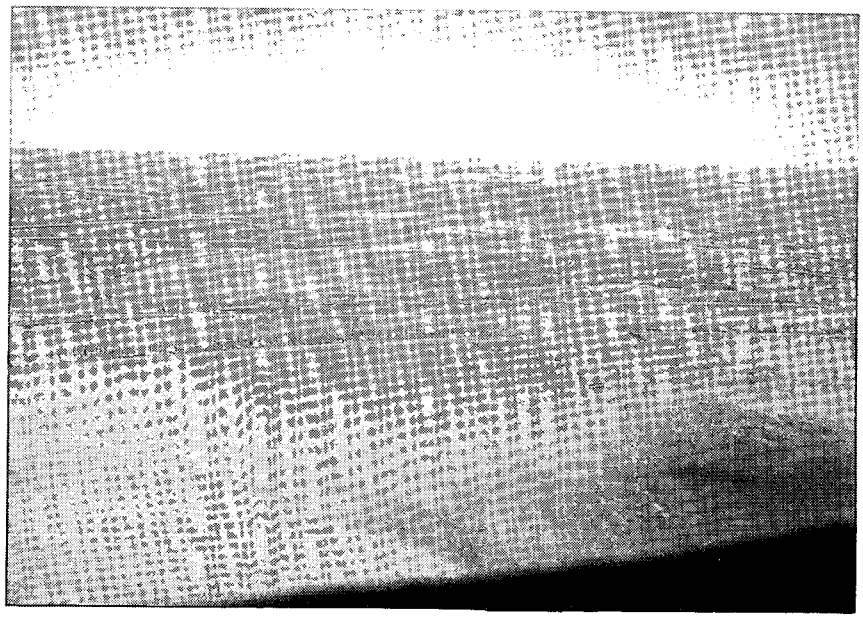
- 低水路幅 250m 程度。
- 高水敷幅 100m 程度。

XI-1 Missouri 川右岸　Miami 近く

写真



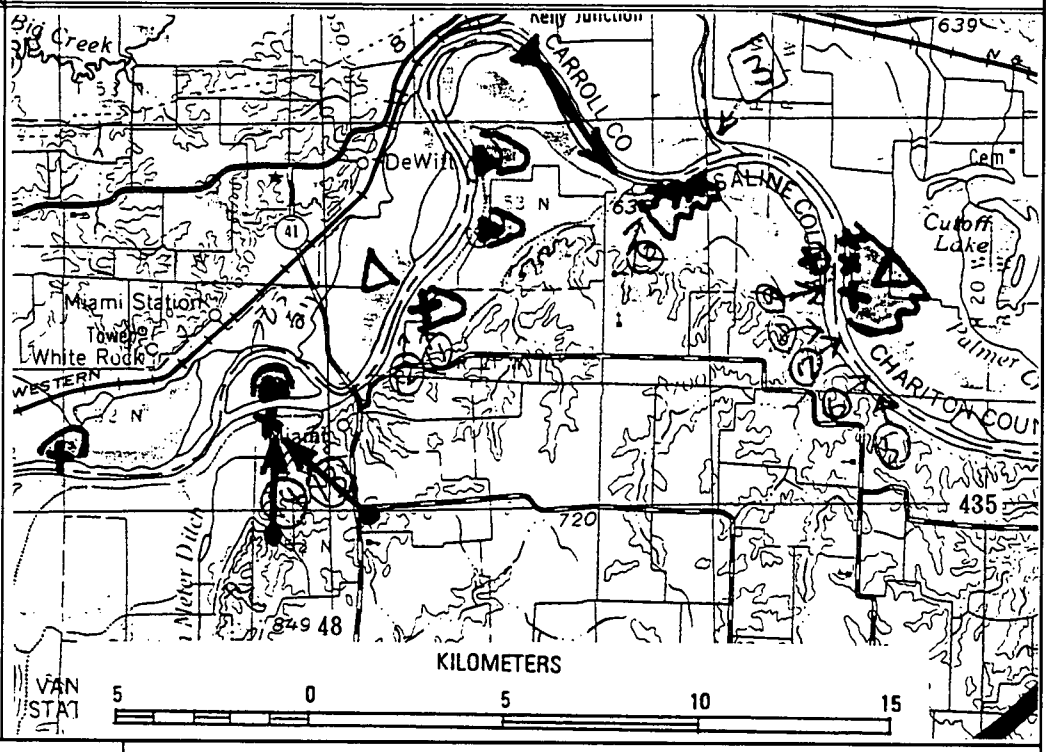
Vol.
7-13



Vol.
7-14

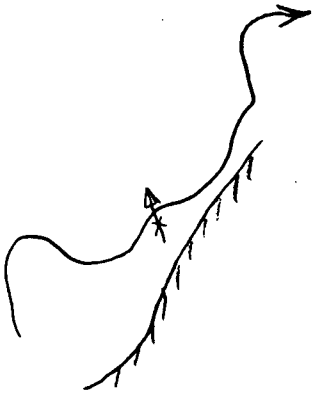
	XI-1 Missouri 川右岸　Miami 近く

位置図



破堤形態	XI－H

観察メモ



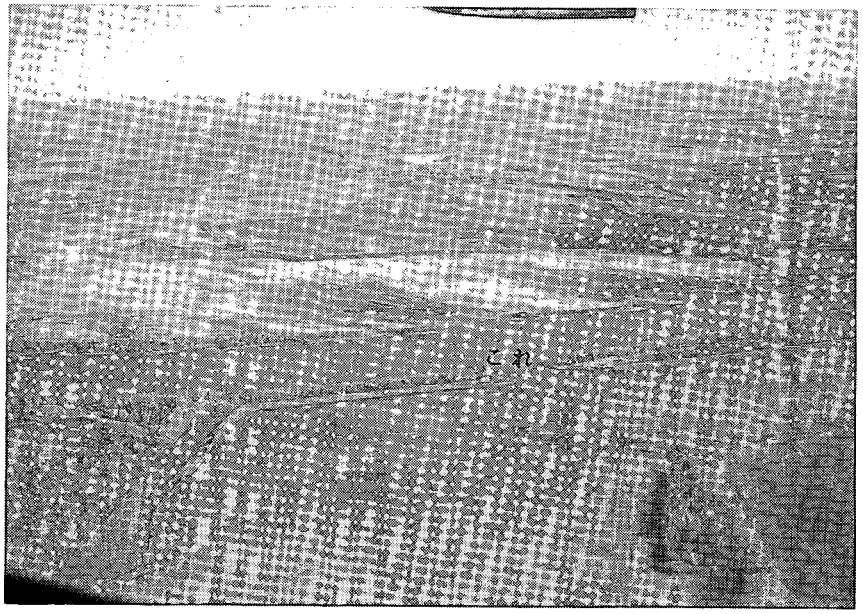
砂の拡がり全くなし。

明らかに河川への戻り流れによるものと考えられる。

- 低水路幅 300m程度。
- 河岸に線状の幅の狭い樹木の列あり。

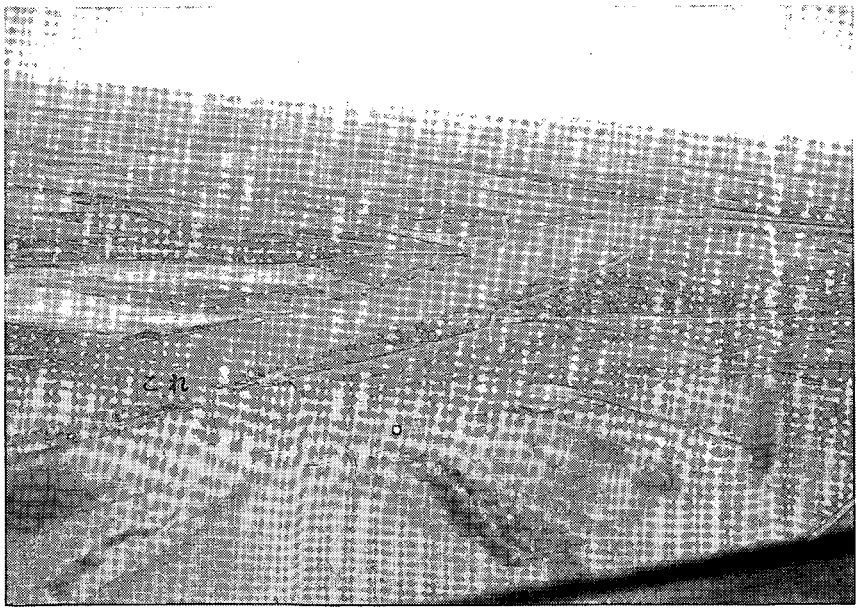
XI-2 Missouri 川左岸　Cranberry Chute 近く

写



Vol.
9-23

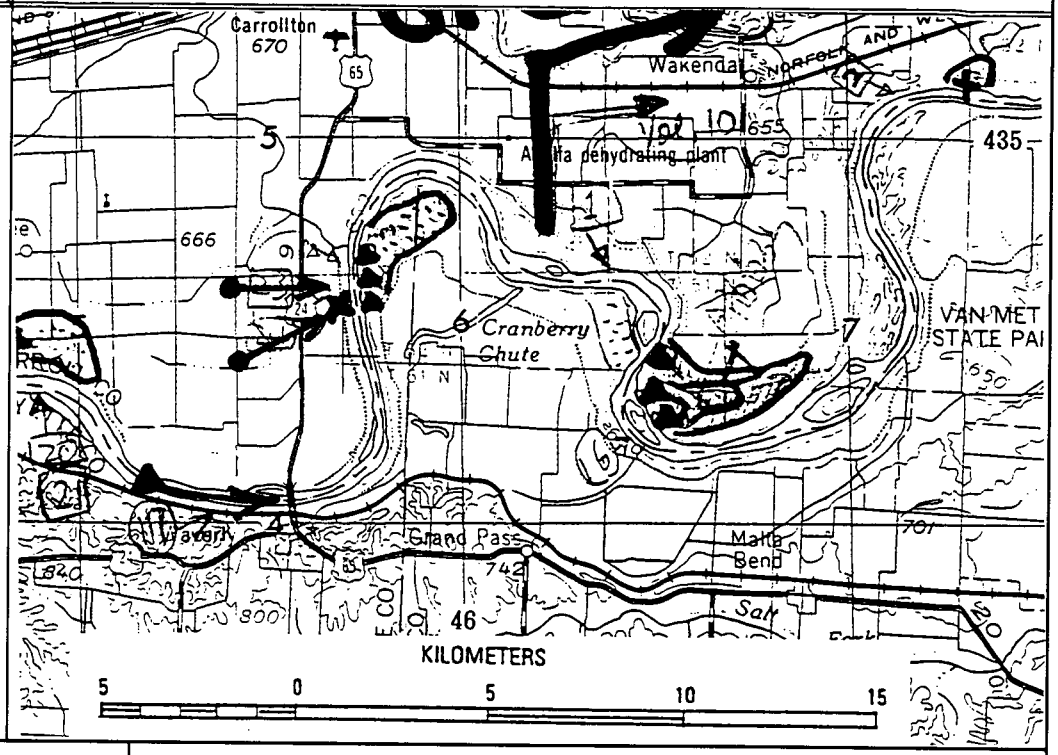
真



Vol.
9-24

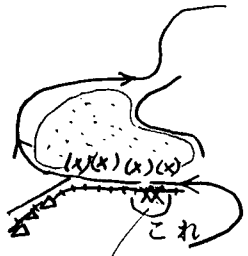
XI-2　Missouri 川左岸　Cranberry Chute 近く

位置図



破堤形態	XI－H

観察メモ



落堀のみで砂拡がり
全くなし。

明らかに河川への流れによるものと
考えられる。

• 低水路幅 250m 程度。