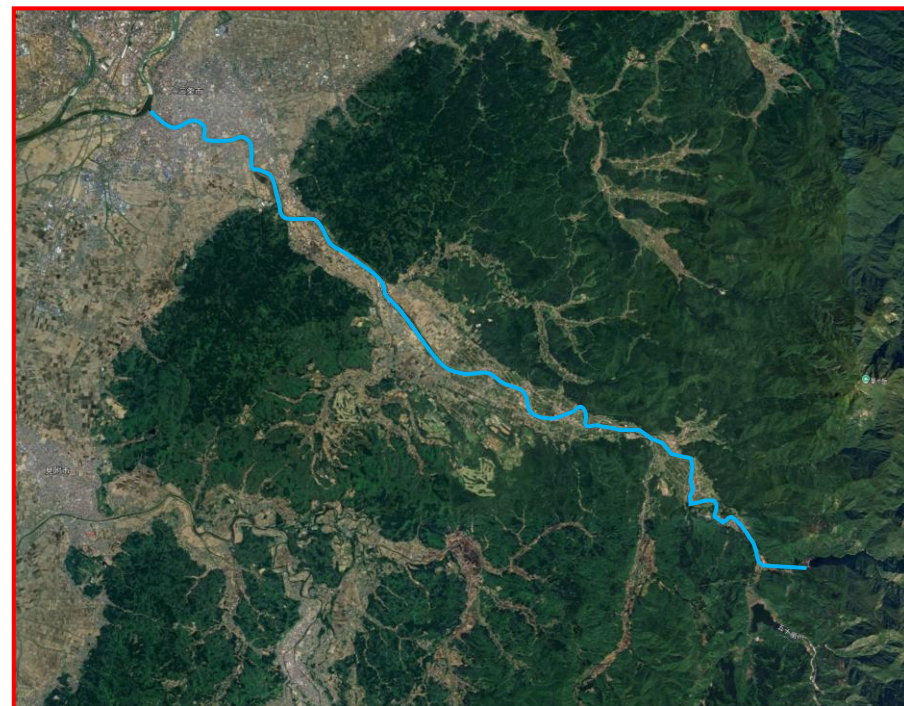


平成23年7月新潟・福島豪雨における五十嵐川 の堤防・河道被害機構 -平成16年7月新潟・福島豪雨と比較して-

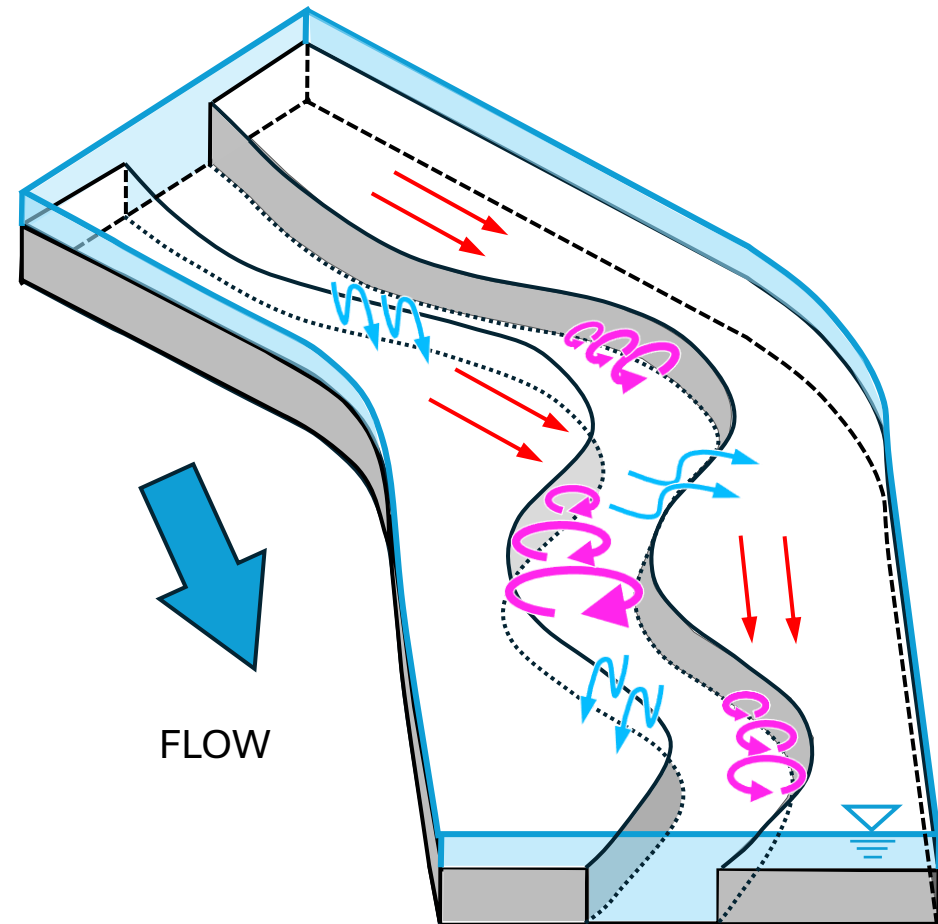
中央大学大学院	修士2年	佐藤海輝
中央大学研究開発機構	機構准教授	後藤岳久
新潟県土木部		岡田一平
中央大学研究開発機構	機構教授	福岡捷二

五十嵐川は新潟県三条市を流れる、延長38kmの信濃川一次支川である。

五十嵐川では平成16年と平成23年に大規模洪水が発生し、平成16年洪水では内岸堤防が約120mにわたって破堤した。この被害を受けて堤防等の改修が行われ、その後平成23年洪水が発生した。平成23年洪水は平成16年洪水より洪水規模が大きかったが、破堤は生じなかった。しかし、堤防表法侵食や内岸高水敷洗掘などの堤防・河道被害が生じた。



- ・ 複断面蛇行河道では、水位が低い時は蛇行部で遠心力による二次流が発生し、最大流速が外岸側に発生する**単断面的蛇行流れ**が発生する。
- ・ 水位が上昇し高水敷水深が高まると、蛇行部において高水敷の遅い流れと低水路の速い流れの混合が生じ、徐々に最大流速が外岸側から内岸側に寄るようになる。水位がさらに上昇すると、低水路の蛇行の程度と高水敷の広さに依存して混合の程度が高まり、二次流の向きが逆転するようになる。その結果、主流が内岸側に寄る**複断面的蛇行流れ**が生じる。



複断面的蛇行流れの模式図

信濃川の一次支川である五十嵐川は平成16年と平成23年に大規模洪水が発生し、平成16年洪水では内岸堤防で破堤した。この被害を受けて堤防等の改修が行われ、その後平成23年洪水が発生した。平成23年洪水は平成16年洪水より洪水規模が大きかったが、破堤は生じなかった。しかし、堤防表法侵食や内岸高水敷洗掘などの堤防・河道被害が生じた。

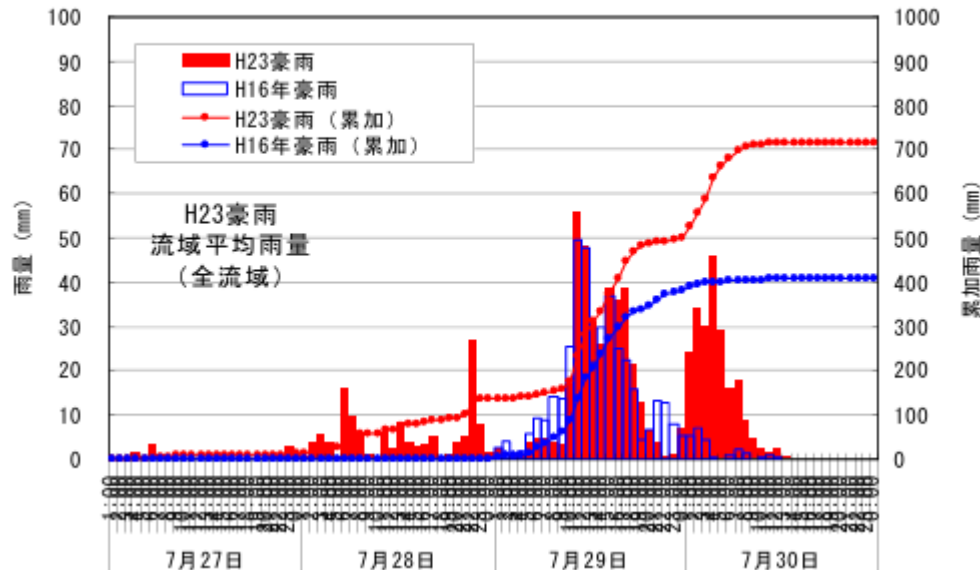


大洪水が発生しやすい五十嵐川において洪水被害の要因・機構を検討することは、今後の河川整備を実施するうえで重要である。

本研究では平成23年7月新潟・福島豪雨を対象に洪水流・河床変動解析を行い、河川改修前の平成16年洪水と比較することで、河川改修の効果を踏まえて河道被害機構を検討する。

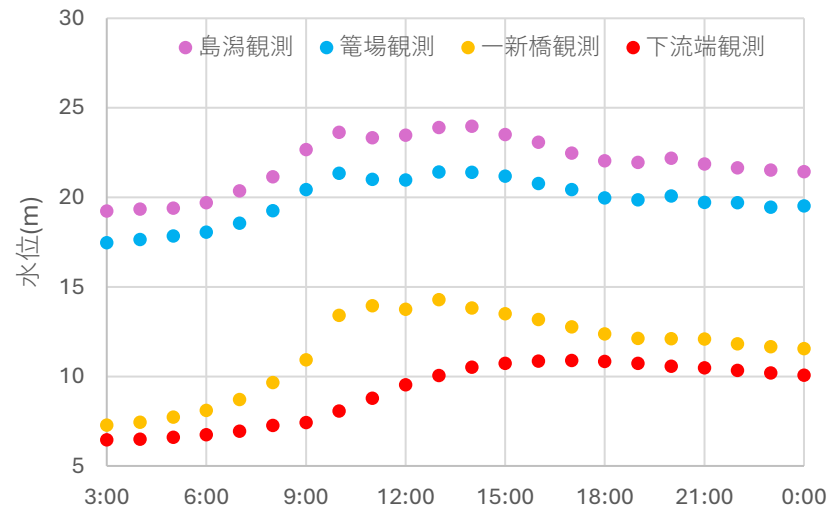
また、五十嵐川の被災と洪水流の持つエネルギーを検討し、超過洪水時における河道被災と全エネルギー水頭の関係性を考察する。

五十嵐川流域平均雨量

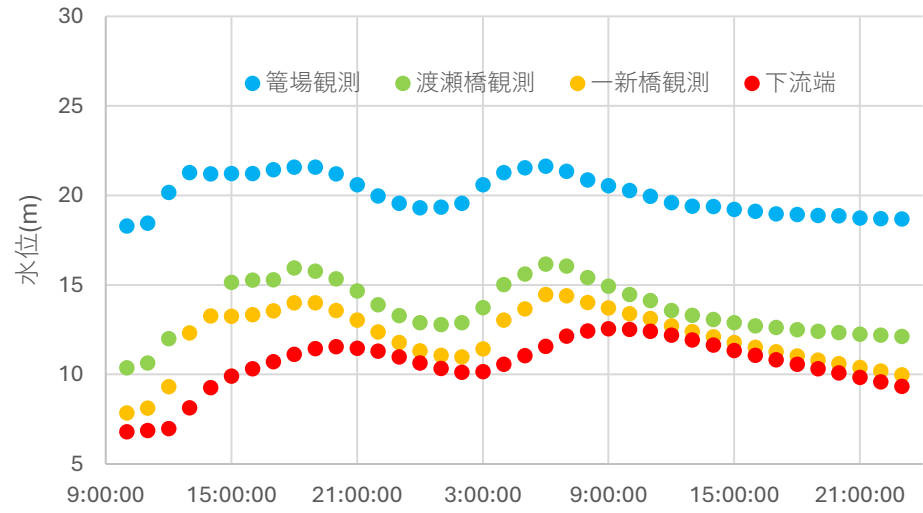


引用:平成23年7月新潟・福島豪雨検討委員会, 平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料, 新潟県, 2011.

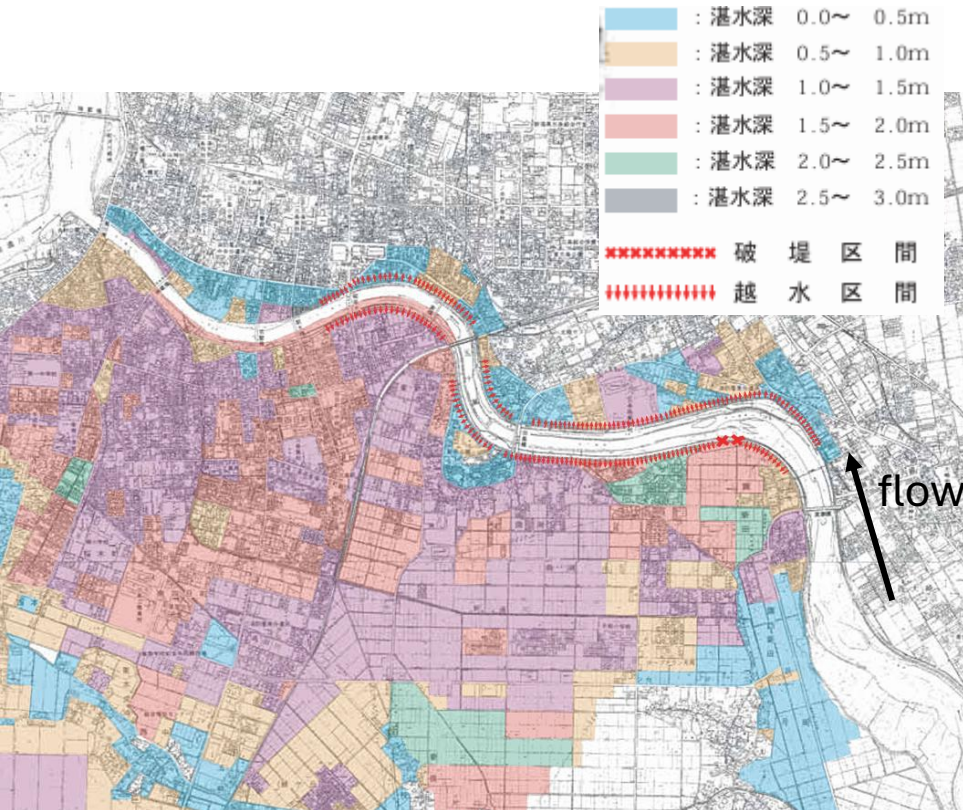
- ・平成16年洪水の洪水ピークが1つに対し、平成23年洪水は2つピークがある。
 - ・洪水継続時間も平成23年洪水のほうが長い。
 - ・累加雨量を比較すると平成23年洪水は16年洪水より約300mm多い。
 - ・時間雨量の最大値は平成16年と平成23年で大きな差はない。
- ⇒平成23年洪水は平成16年洪水と比較して洪水規模が大きい。



平成16年洪水時における水位ハイドログラフ

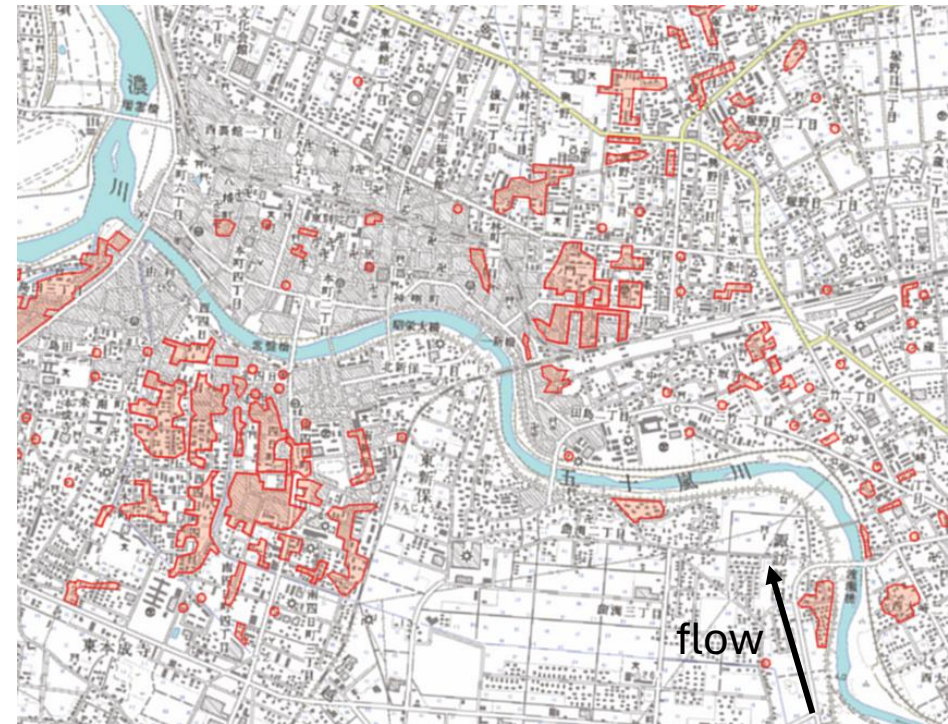


平成23年洪水時における水位ハイドログラフ



資料提供：新潟県

平成16年洪水時における浸水図



引用:新潟県ホームページ

平成23年洪水時における浸水図

- 平成16年洪水時は五十嵐川下流の多くの場所で越流が生じており、破堤も生じたため、浸水範囲が広い
- 平成23年洪水時における五十嵐川下流の越流箇所は少なく、破堤も生じていないため、浸水範囲が平成16年洪水時と比較してかなり小さくなっている。



対象領域

写真：google earth



引用:平成23年7月新潟・福島豪雨検討委員会，平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料，新潟県，2011.

H23年洪水時 堤防侵食
(3.4km右岸)



H16年洪水時
堤防破堤
(3.3km左岸)

引用:7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会：第1回委員会配布資料.2004



引用:7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会：第1回委員会配布資料.2004



対象領域

写真：google earth

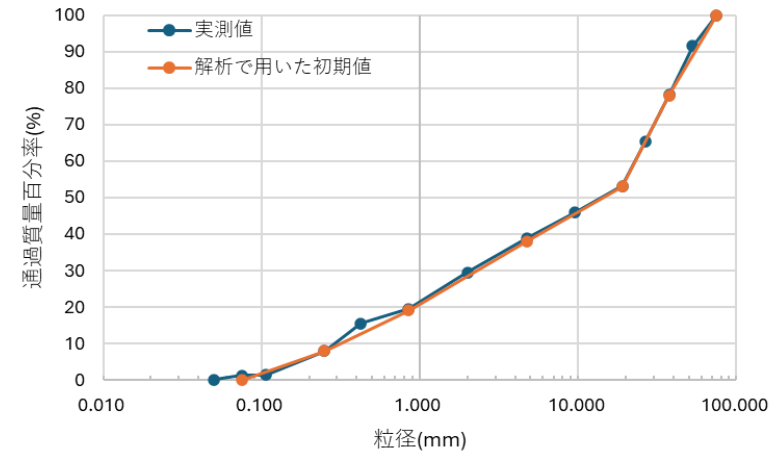


引用:平成23年7月新潟・福島豪雨検討委員会，平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料，新潟県，2011.

H23年洪水時
高水敷洗掘
(1.1km右岸)



資料提供：新潟県



粒度分布

- ・ 解析区間内に堰や落差工などの横断構造物が建設されている。
- ・ 横断構造物の諸元がわかるものは、諸元をもとに、地形として、構造物の影響を考慮し、諸元がわからぬ物は、水面形が合うように横断構造物の敷高を設定した。

- ◆水深積分連続式： $\bar{h}$ $\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}_i \bar{h}}{\partial x_j} = 0$
- ◆水深積分運動方程式： $\bar{U}_i$ $\frac{\partial \bar{U}_i \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}_i \bar{U}_j \bar{h}}{\partial x_j} = -g \bar{h} \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}'' \bar{h}}{\partial x_i} - \frac{\bar{p}_b''}{\rho} \frac{\partial z_b}{\partial x_i} - \frac{\hat{\tau}_{bi}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{h} \bar{T}_{ij}}{\partial x_j}$
- ◆水面の運動方程式： $\bar{u}_{si}$ $\frac{\partial \bar{u}_{si}}{\partial t} + \bar{u}_{si} \frac{\partial \bar{u}_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho \bar{h}} \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} \frac{\partial \bar{p}''}{\partial \eta} \bigg|_s + \frac{\bar{v}_{ts}}{\rho} \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial z^2} \bigg|_s$
- ◆底面の運動方程式： $\bar{u}_{bi}$ $\frac{\partial \bar{u}_{bi}}{\partial t} + \bar{u}_{bj} \frac{\partial \bar{u}_{bi}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}_b''}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho \bar{h}} \frac{\partial z_b}{\partial x_i} \frac{\partial \bar{p}''}{\partial \eta} \bigg|_b + \frac{1}{\rho \bar{h}} \frac{\partial \bar{\tau}_i}{\partial \eta} \bigg|_b$
- ◆流速鉛直分布 $\bar{u}_i(\eta) = \Delta \bar{u}_i (12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) - \delta \bar{u}_i (4\eta^3 - 3\eta^2) + \bar{U}_i$
 $\Delta \bar{u}_i = \bar{u}_{si} - \bar{U}_i, \delta \bar{u}_i = \bar{u}_{si} - \bar{u}_{bi}, \eta = (\bar{z}_s - z) / \bar{h}$

- ◆河床の斜面に沿う方向の単位幅掃流砂量 | $\hat{q}_{bik}$
 $\hat{q}_{bik} = \bar{V}_{bk} \hat{u}_{pik}$
 $\left[\begin{array}{l} \bar{V}_{bk} \mid \text{単位面積当たりの流砂体積} \\ \hat{u}_{pik} \mid \text{河床に沿う方向の砂粒子の平均移動速度} \end{array} \right]$
- ◆掃流砂の連続式
 $\frac{\partial \bar{V}_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial \hat{q}_{bjk}}{\partial x_j} = (\bar{P}_k - \bar{D}_k - \bar{q}_{suk} + \bar{q}_{sdk})$
 $\left[\begin{array}{l} \bar{V}_{bk} \mid \text{単位面積当たりの流砂体積} \end{array} \right]$

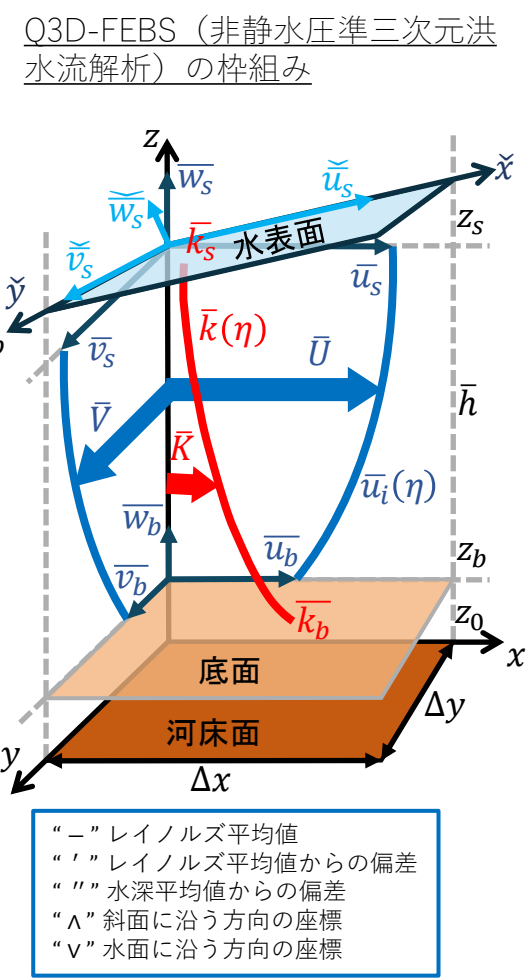
河床からの離脱量

浮遊砂から掃流砂への遷移量

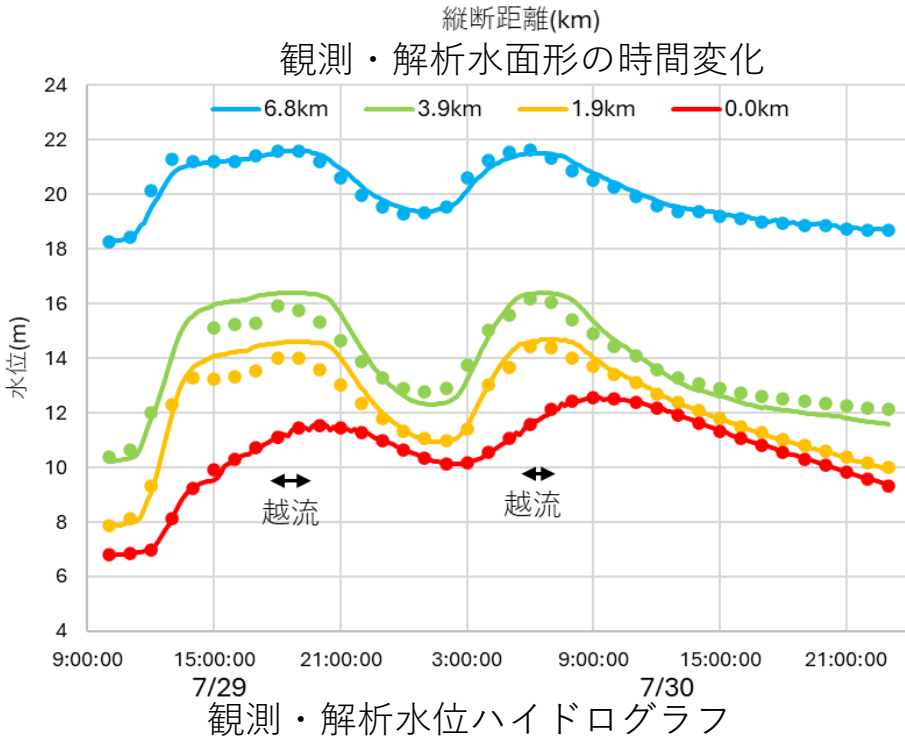
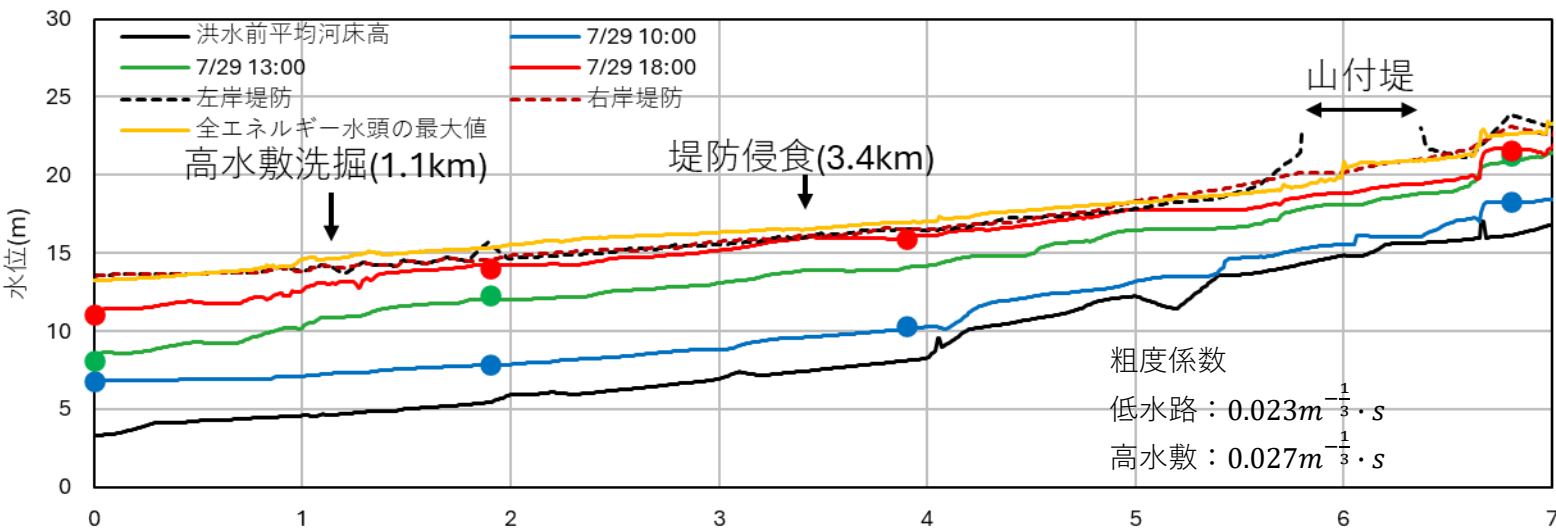
河床への堆積量

掃流砂から浮遊砂への遷移量

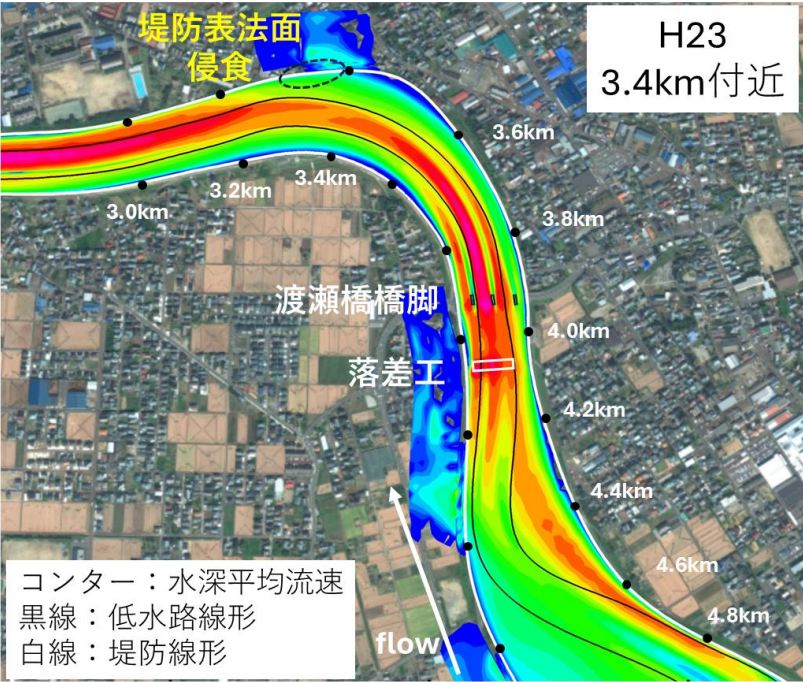
- ◆粒子の運動方程式
 $A_3(\rho_s + \rho C_M) d_k^3 \frac{d\hat{u}_{pik}}{dt}$
 $= 0.5 A_2 C_D \rho d_k^2 (\widehat{\bar{u}_i(z)} - \widehat{u_{pik}}) \left| \widehat{\bar{u}_i(z)} - \widehat{u_{pik}} \right| - A_3(\rho_s - \rho) g_i d_k^3$



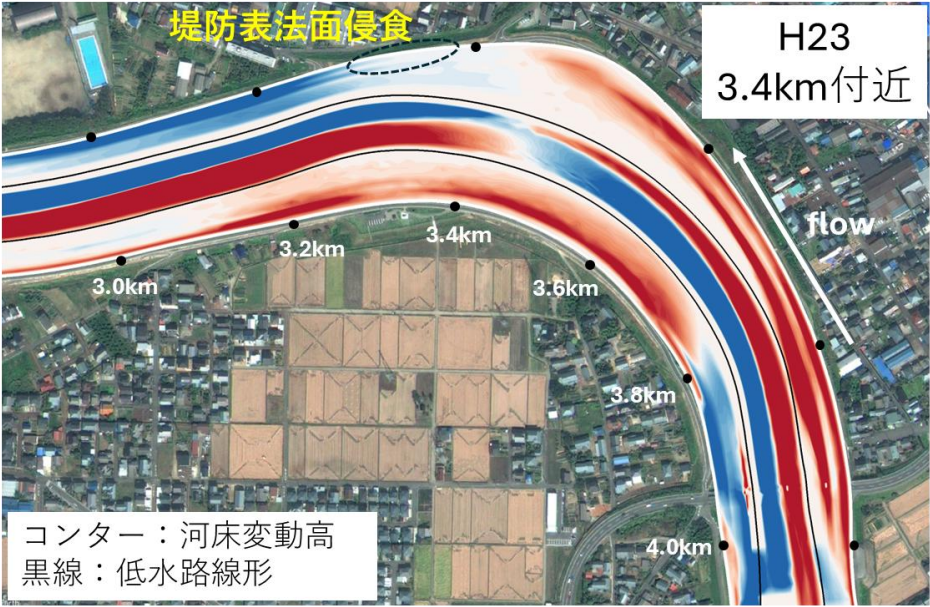
平面二次元解析の枠組みで、流速鉛直分布を仮定し、準三次元解析を行う。



3.4km周辺の蛇行部における検討 (平成23年洪水時堤防侵食, 平成16年洪水時破堤)

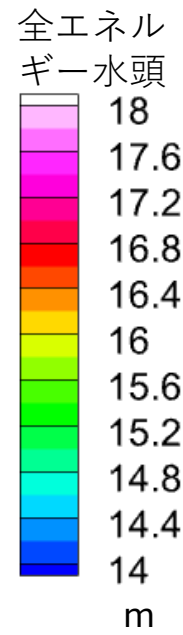
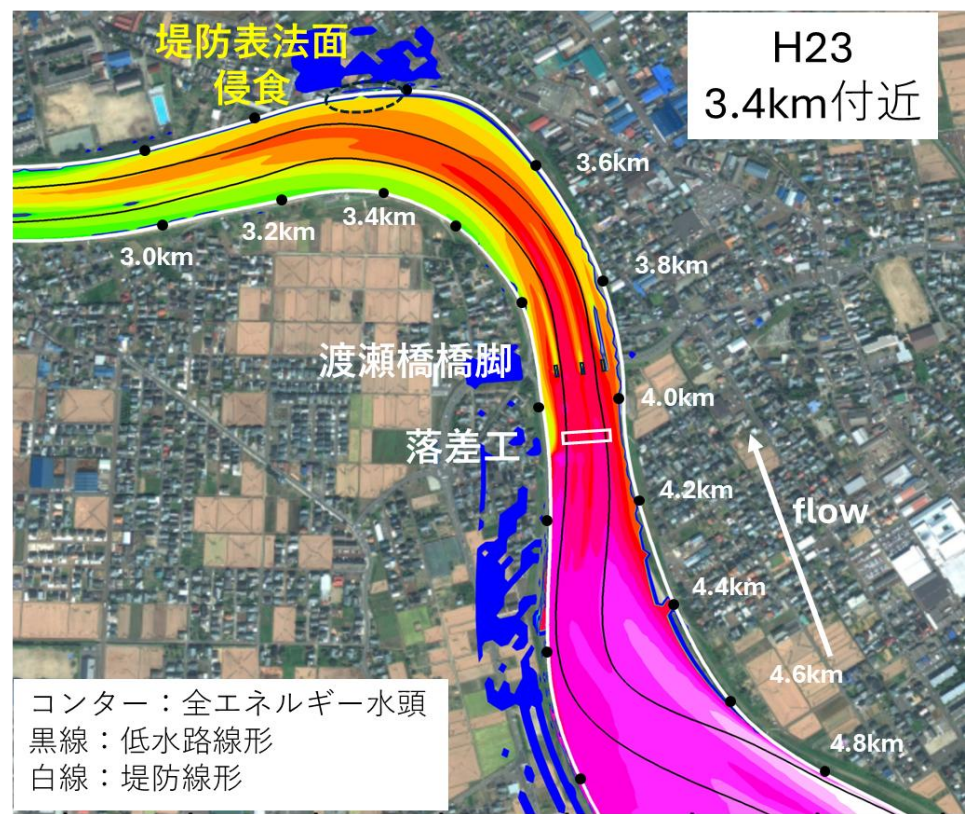


水深平均流速 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 m/s
3.4km周辺の水深平均流速の平面分布



洗掘 -1.5 -1.2 -0.9 -0.6 -0.3 0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 堆積(m)
3.4km周辺の河床変動コンター図

- ・ 堤防高が上昇したが、遠心力の影響で、外岸では越流水深20cmの越流が発生し、越流時間は一山目110分、二山目で60分の合計170分の越流であった。
- ・ 3.4km外岸は水衝部であり、長時間越流が生じ、流れが集中している。

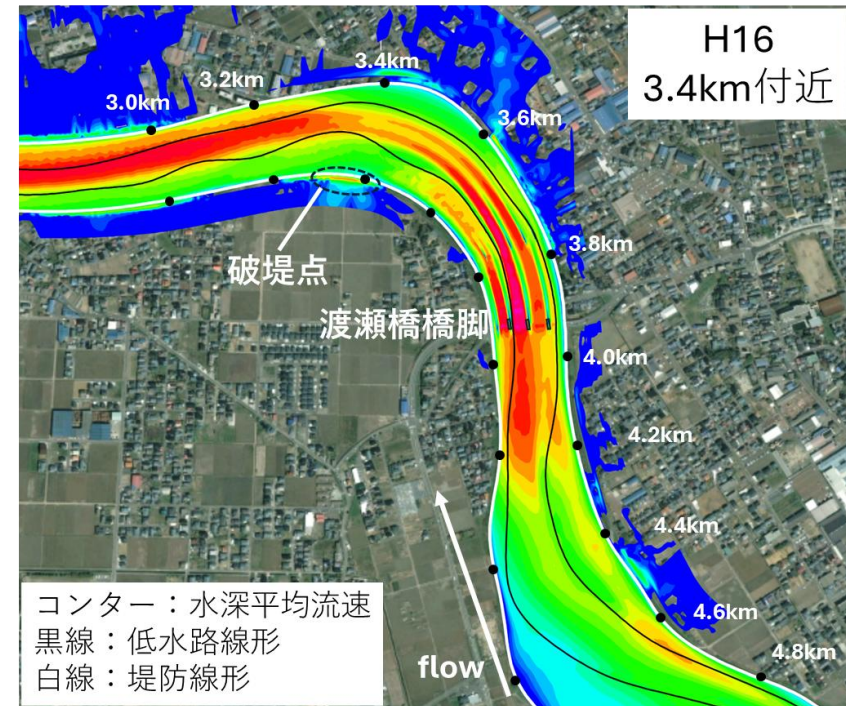
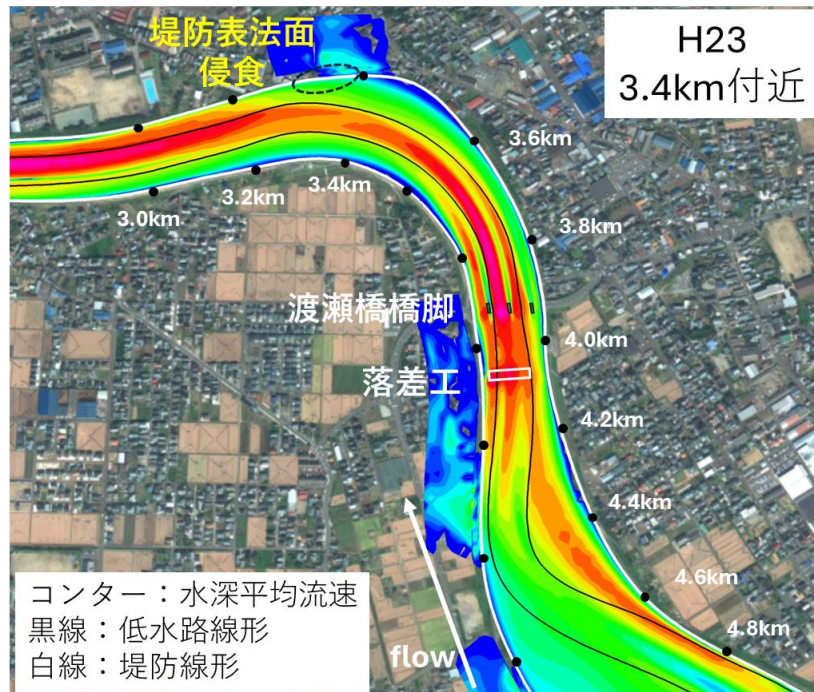


全エネルギー水頭の定義式

$$H(x,y,z,t) = \frac{u^2(x,y,z,t) + v^2(x,y,z,t) + w^2(x,y,z,t)}{2g} + \frac{p(x,y,z,t)}{\rho g} + z$$
$$H_{all} = \frac{1}{h(x,y,t)} \int_{z_b}^{z_s} H(x,y,z,t) dz$$

3.4km周辺の全エネルギー水頭平面分布

- ・ 堤防表法面侵食が生じた外岸側は、内岸と比較して全エネルギー水頭が大きい。
- ・ 3.4km外岸は水衝部であり、長時間越流が生じたことで流れが集中し、全エネルギー水頭が高い状態が続いたことで堤防天端付近の表法面が侵食被害を受けた。

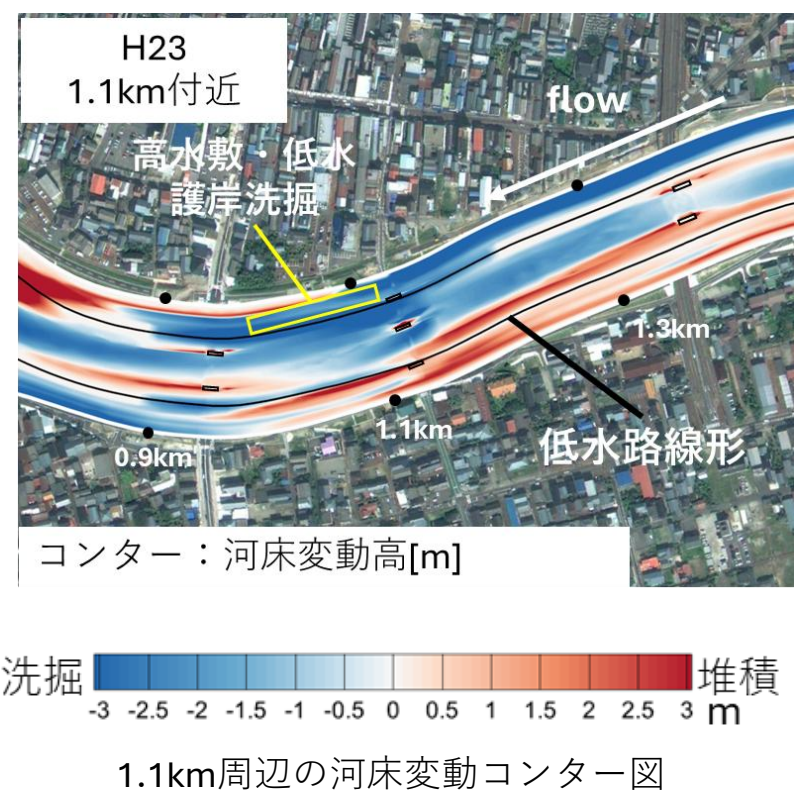
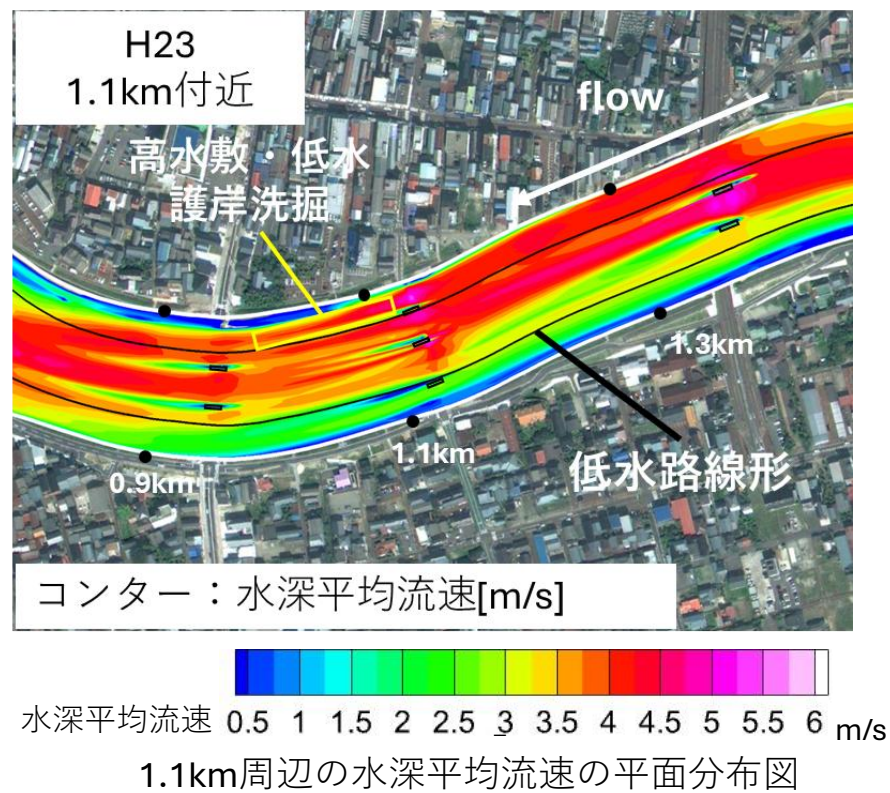


水深平均流速 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 m/s

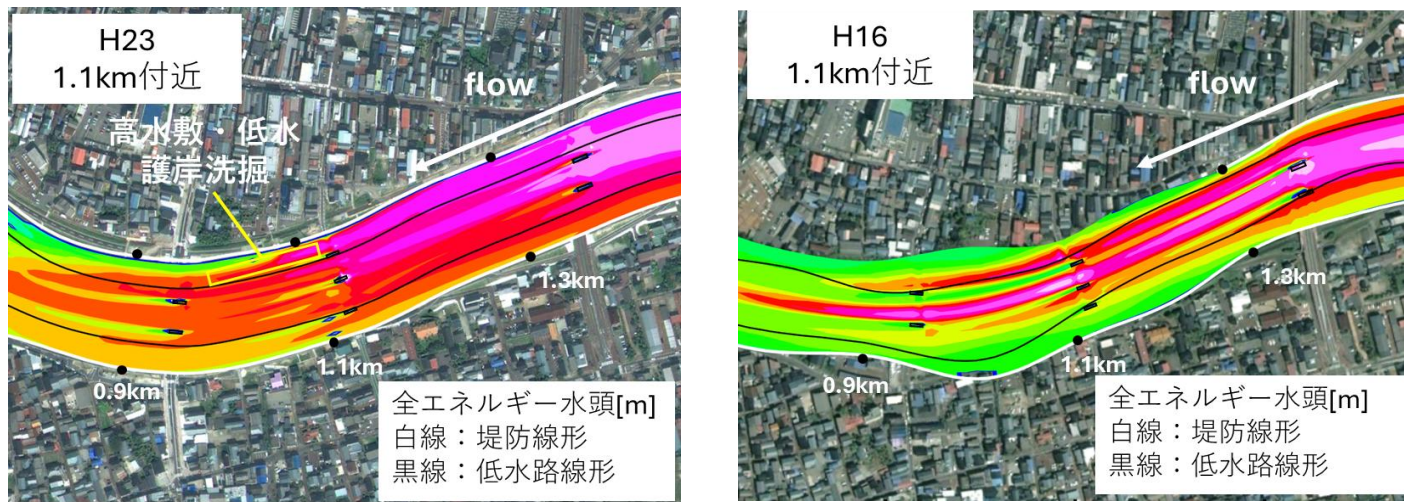
3.4km周辺の水深平均流速の平面分布

- 河川改修により両岸の堤防高が高くなったことで、内岸から越流は生じなかった。
- 4.0km上流に落差工が設置されたため、主流が河道中央に寄せられ、内岸流速が低減した。

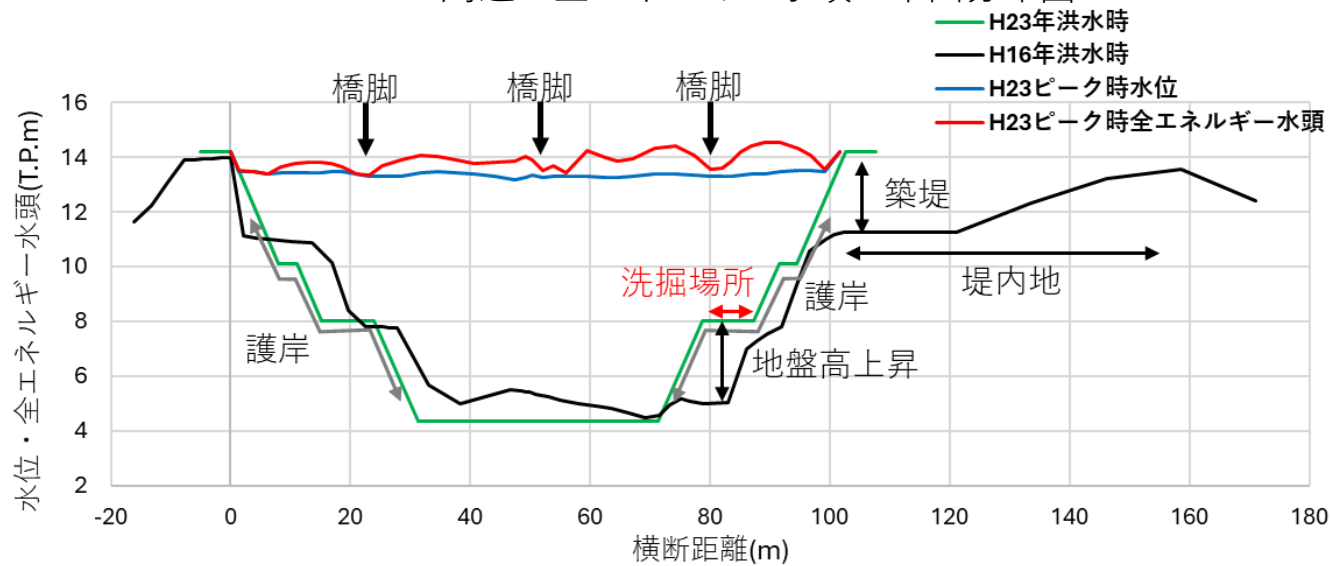
1.1km周辺の蛇行部における検討 (平成23年洪水時高水敷洗掘)



- ・ 複断面的蛇行流れの影響で1.1km周辺では内岸側に主流速が寄り、増水期の段階から内岸高水敷上に高速流が流れている。
- ・ 高水敷・低水護岸洗掘被害が生じた1.1km内岸高水敷上では洗掘が生じている。

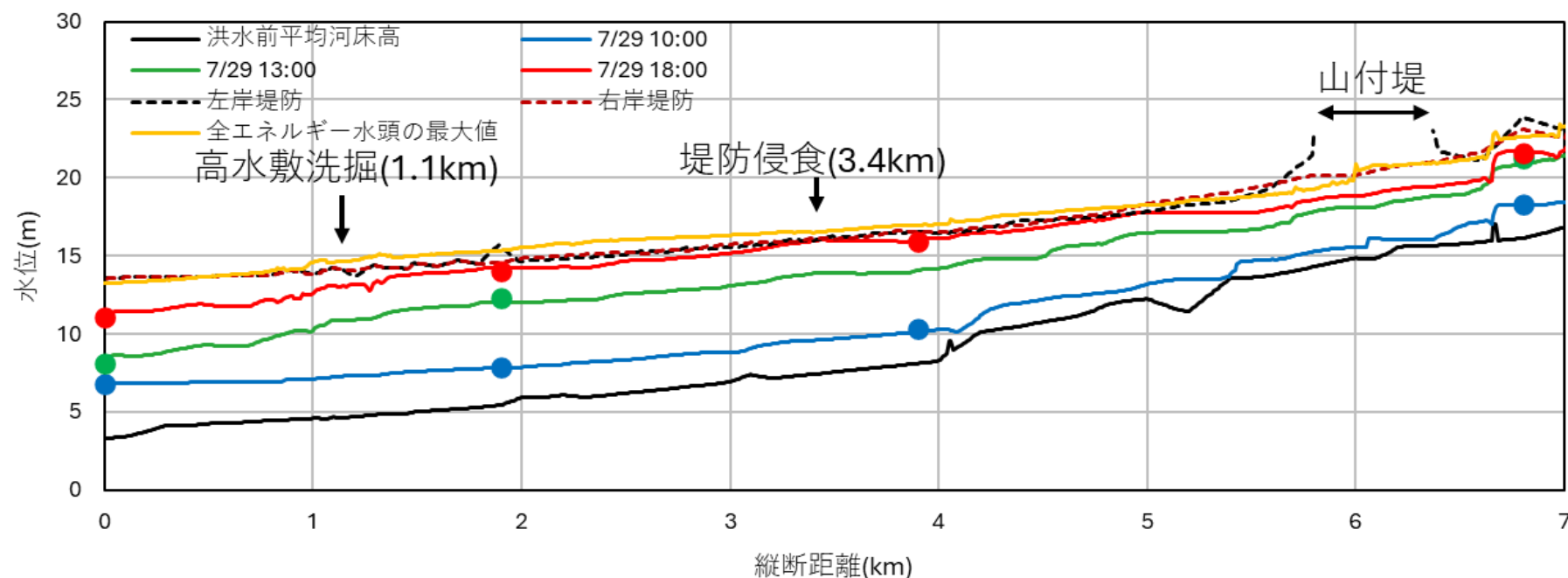


1.1km周辺の全エネルギー水頭の平面分布図



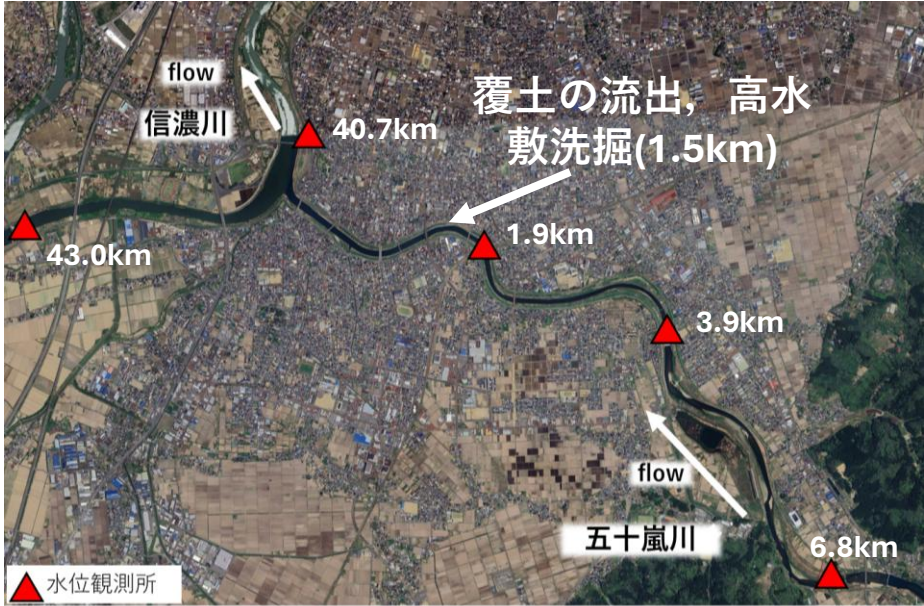
・ 築堤により、越水は生じなかったが、全エネルギー水頭は大きくなっている。

全エネルギー水頭と被災の関係



全エネルギー水頭の横断最大値縦断分布

- ・ 縦断的に全エネルギー水頭の最大値が堤防高を超えており、堤防侵食や高水敷洗掘等の被災の危険性が高いと考えられる。

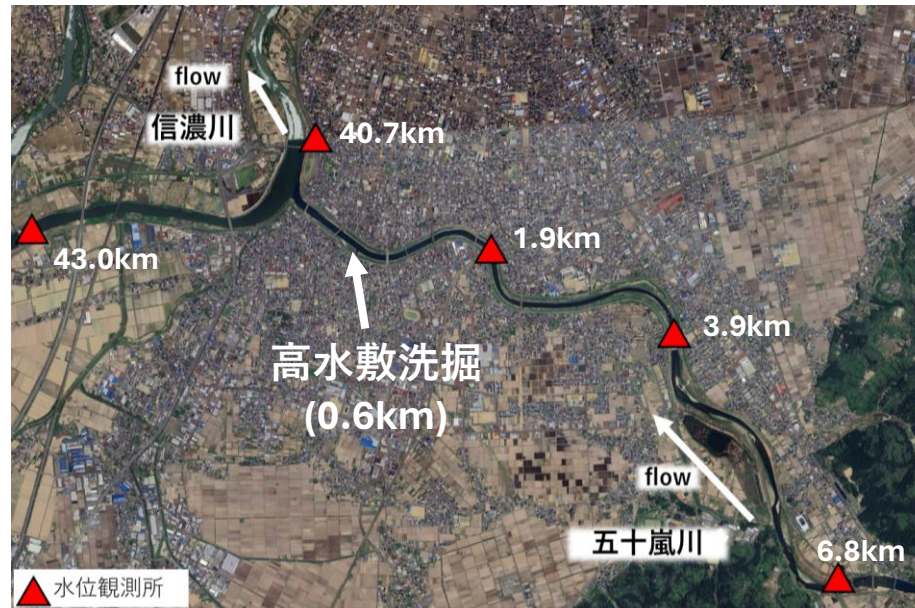


写真：google earth



写真：google earth





写真：google earth

洪水前

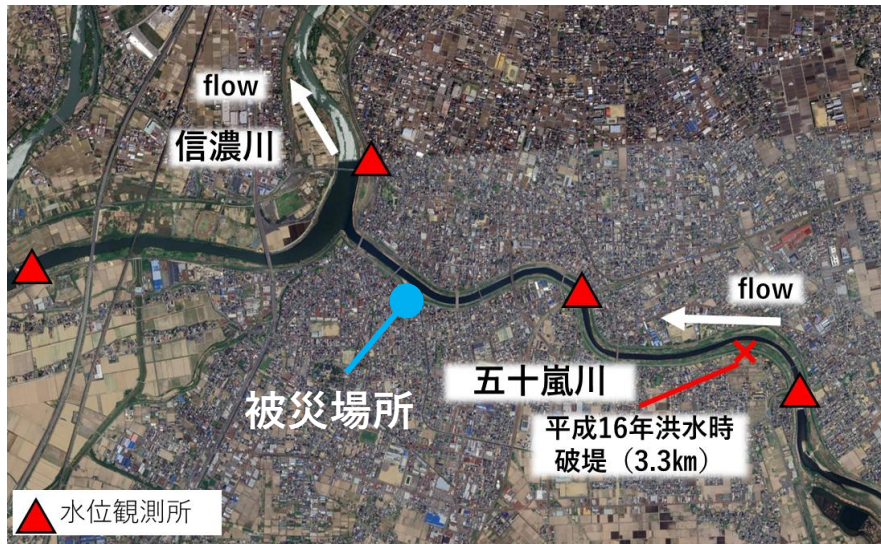


写真：google earth

洪水後



Maxar Products. [Product] © [YEAR] Maxar Technologies.



写真：google earth



引用:平成23年7月新潟・福島豪雨検討委員会, 平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料, 新潟県, 2011.



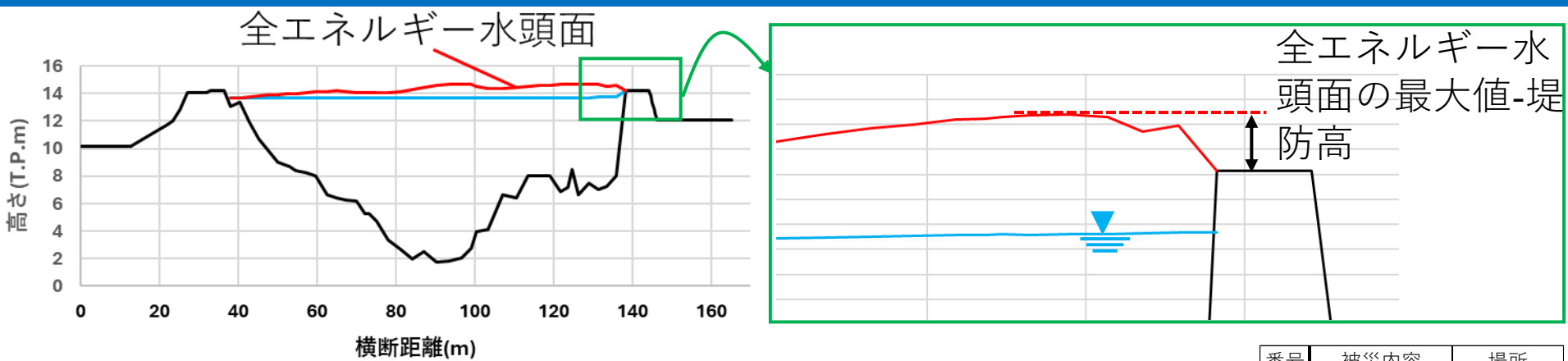
写真：google map



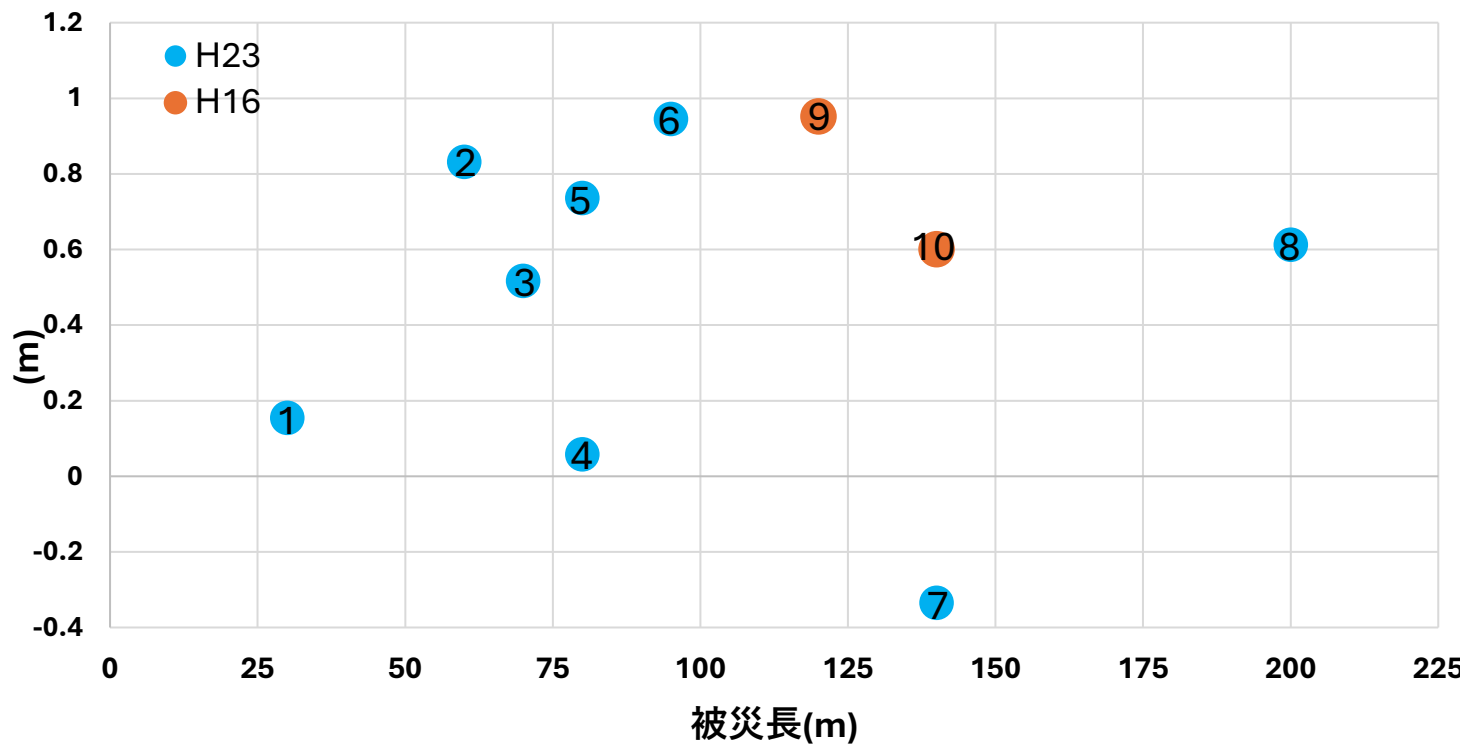
写真：google earth



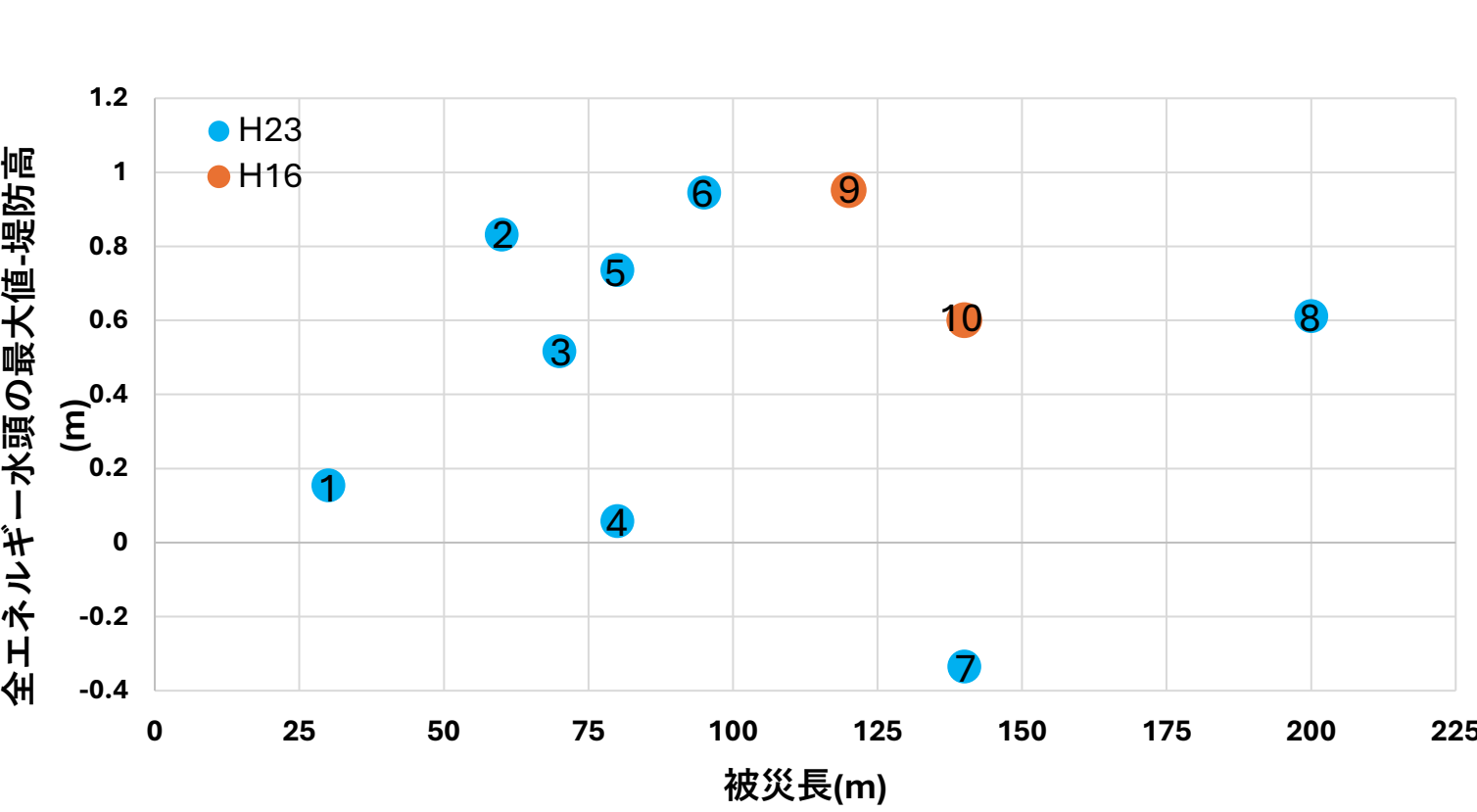
写真：google map



全エネルギー水頭の最大値-堤防高



番号	被災内容	場所
①	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (0.9km)
②	高水敷洗掘	蛇行部内岸 (1.1km)
③	堤防侵食	蛇行部外岸 (3.4km)
④	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (0.6km)
⑤	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (2.3km)
⑥	堤防侵食	蛇行部内岸 (2.3km)
⑦	高水敷洗掘	河道直線部 (6.6km)
⑧	高水敷洗掘 堤防覆土流出	蛇行部外岸 (1.5km)
⑨	破堤	蛇行部内岸 (3.3km)
⑩	高水敷洗掘	河道直線部 (6.6km)



番号	被災内容	場所
①	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (0.9km)
②	高水敷洗掘	蛇行部内岸 (1.1km)
③	堤防侵食	蛇行部外岸 (3.4km)
④	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (0.6km)
⑤	高水敷洗掘	蛇行部外岸 (2.3km)
⑥	堤防侵食	蛇行部内岸 (2.3km)
⑦	高水敷洗掘	河道直線部 (6.6km)
⑧	高水敷洗掘 堤防覆土流出	蛇行部外岸 (1.5km)
⑨	破堤	蛇行部内岸 (3.3km)
⑩	高水敷洗掘	河道直線部 (6.6km)

- 被災長が長いほど全エネルギー水頭の堤防高からの超過高さが大きくなる傾向がある。
- 被災は蛇行部に集中している。遠心力によって主流が外岸に寄せられることや、複断面的蛇行流れの影響で内岸側に主流が寄せられることで、堤防際や高水敷上の全エネルギー水頭が高まるためと考えられる。

- ・ 落差工の設置や堤防高の引き上げにより，蛇行部内岸流速が低減し，内岸で河道被害は生じなかった.
- ・ 1.1km周辺は，複断面的蛇行流れの影響で増水期の段階から内岸高水敷上に高流速が流れたことに加え，水位が上昇したことで，全エネルギー水頭が高まった．そのため内岸高水敷で洗掘被害が生じた.
- ・ 五十嵐川は縦断的に全エネルギー水頭の最大値が堤防高を超えている場所が多く，そこでは堤防や高水敷洗掘等の被災の危険性が高いと考えられる.
- ・ 被災の縦断距離が長くなるほど，全エネルギー水頭の堤防高からの超過高さが大きくなる傾向がある.
- ・ 超過洪水が発生する近年の河川管理では全エネルギー水頭と堤防高の関係性について検討することが重要.