

河川堤防の決壊による洪水段波の衝撃力と

木造家屋の流失危険度に関する研究

京都大学防災研究所 正員 高橋 保 正員 中川 一
名古屋鉄道 正員の安達宗徳

1.はじめに 近年の高堤防方式による河川改修の進捗は、一方では堤防直下等の洪水氾濫危険地域における宅地化を促しており、洪水災害危険度は増大の一途をたどっていると言われている。本研究はこういった現状と、河川堤防が決壊して生ずる洪水によつて被害を受ける家屋の大半が木造家屋であるという点に着目し、洪水段波による木造家屋の流失限界について考究し、木造家屋の流失危険区域の予測法を示そうとするものである。

2.実験の概要 破堤による氾濫洪水は一般に段波状の非定常で二次元的な広がりを持ったものであるが、ここではこれを Dam

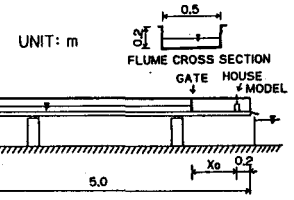


図-1

break流れとみなして実験を行った。実験装置は図-1に示したようなアクリル製水路の途中に段波発生用ゲートを架設したものである。このゲートを手動で瞬時に持ち上げることにより段波を発生させた。家屋模型は図-2に示すような直方体のアクリル製で、底面との接触がないようにわずかの隙間を設けて真鍮棒で上部を固定した。この真鍮棒には表裏と上下に一枚ずつ、計四枚のひずみゲージを貼り付け、それぞれの点における曲げひずみが計測できるようになっている。測定されたひずみから抗力 F 、及びその底面からの作用高 h を求める。段波先端流速、及び水深は2台のビデオカメラで計測した。水路勾配は約 $1/360$ であり、実験条件は表-1に示すとおりである。

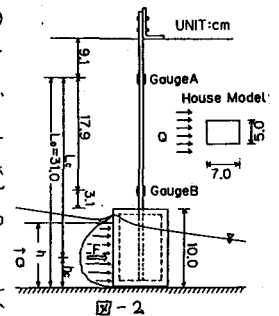


図-2

3.流体力に関する考察 流体による木造家屋模型への作用力の最大値を理論的に求めるのに、ここでは二通りの方法考えた。

一方は段波による衝撃力を考慮した次式である。

$$F = \alpha C_F \rho B u^2 h + \rho g B L h \tan \theta \quad \text{--- ①}$$

ここに、 C_F :Cumberbatch¹⁾の係数、 B, L はそれぞれ構造物の幅と長さ、 θ :水面勾配、 α :水流の模型への回り込みを考慮する係数である。他方はMorisonによる仮想質量力の考え方を採用したものであり、

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho B u^2 h + C_M \rho B L h \frac{du}{dt} \quad \text{--- ②}$$

と表わされる。ここに、 C_D :抗力係数、 C_M :質量係数である。①および②式の u, h 、および θ はそれぞれ以下の③および④式より求めた。すなわち、底面摩擦を無視した、Dam breakに関するRitterの解、

$$u = \frac{2}{3} (x/t - \sqrt{g h_0}), \quad h = \frac{1}{9g} (2\sqrt{g h_0} - x/t)^2 \quad \text{--- ③}$$

および、Ritterの式に摩擦の影響を先端部分でのみ取り入れ、摩擦抵抗に関する係数 K を

Tamotu Takahashi, Hajime Nakagawa, Munenori Adachi

X_0 (cm)		h_0 (cm)									
4.0	7.0	8.5	8.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0		
6.0	7.0	8.5	8.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0		
8.0	7.0	8.5	8.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0		
10.0	7.0	8.5	8.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0		

X_0 : ゲートから構造物前面までの距離
 h_0 : 初期の波源水深の水深

導入した Whitham²⁾の解、すなわち、

$$u = da/dx, \quad \dot{x} = da/dx (2K/g)^{1/2} (a(x) - x)^{1/2} \quad \text{--- ④}$$

ここに $a(x)$ は堤体から先端までの距離で、

$$a(x) = 2\sqrt{g}x_0 t - 2.589\sqrt{g}x_0 K^{1/3} (g/\dot{x}_0)^{1/2} t^{4/3}$$

で表わされる。①および②式に③式、④式を代入することにより得られる4通りの理論式から流体力 F の時間的変化を求めた。得られた結果の一部を実験値とともに図-3~5に示す。なお、図中①、②等は①式、②式等を示す。これらの図より、初期水深 $\dot{x}_0$ および、距離 x_0 の変化に対して①式と③式の組み合わせが、実験値を比較よく説明していることがわかる。

木造家屋の変形あるいは破壊は、基礎部分かほぞ構造であるため、主に流体力による力のモーメントによると考える。実験、及び理論解析においては、流体力の最大値が生起している時刻での力 F と、作用高さ $\dot{x}_0$ を用いることにより、モーメントの最大値 M を求めた。 $\dot{x}_0$ は Camberbatch の理論より、 $2/5\dot{x}_0$ なる値を用いた。図-6 に、 $x_0/\dot{x}_0$ と M/M_0 (M_0 は破堤口に家屋構造物があると仮定した場合にこれが受ける最大モーメント) との関係を実験結果とともに示す。同図中の破線は実際の代表的木造家屋の耐力モーメント $M_a \div 418700 (Nm)$ を無次元化したものである。この図から、実験値が $x_0/\dot{x}_0$ の増大に伴い、Ritter の理論曲線から Whitham の理論曲線へと漸近していく点に着目し、 M/M_0 の近似式として、

$$M/M_0 = \text{EXP}[-0.03993(x_0/\dot{x}_0)] \quad \text{--- ⑤}$$

を得る。この曲線と M_a/M_0 を表わす直線との交点よりも堤体側の $x_0/\dot{x}_0$ が木造家屋の流失危険範囲である。⑤式において $M = M_a$ とおくことにより、流失危険範囲を表わす x_d を求めると、

$$x_d = 25.04\dot{x}_0 \ln(B\dot{x}_0^3/1187.2) \quad \text{--- ⑥}$$

となる。 $\dot{x}_0$ は堤防が瞬時に決壊した場合、堤防天端高に相当すると考えられる。したがって木造家屋の流失危険範囲が、最も危険な場合として、堤防天端高の関数として知れる。

4.あとかき 以上のように危険範囲が求められたが、⑥式を用いるにあたっては、第一に構造物が存在する実際の場での現象に、Dam break の理論を用いて解析を行なった点、第二に本研究では一次元的な洪水段波を仮定したか、実際の二次元的な流れに対してどの程度適用しうるかが問題となり、これらに関してさらに十分な検討が必要である。

<参考文献> 1) Camberbatch, E.; The impact of a water wedge on a wall, Jour. Fluid Mech., Vol. 7, 1960, pp. 353-373.

2) Whitham, G. B.; The effects of hydraulic resistance on the dam-break problem, Proc. Roy. Soc. A, Vol. 227, 1955, pp. 399-407

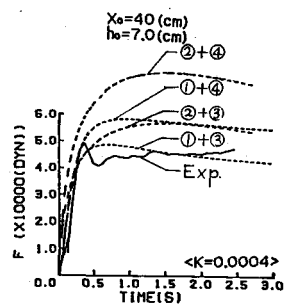


図-3

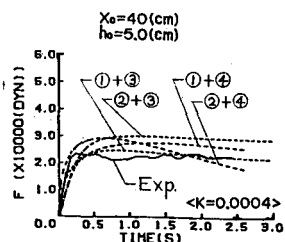


図-4

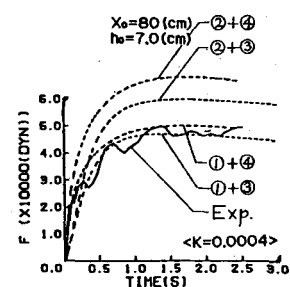


図-5

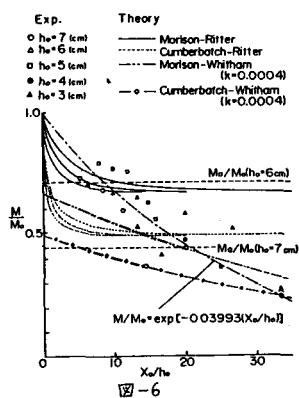


図-6