

実物フランス水車ランナのキャビテーション損傷観察

浜田 聡 美* 山崎 堯 右*
西岡 守**

(*農学部農業工学科機械工学講座)

(**理学部附属水熱実験所)

On Cavitation Erosion in Prototype Runner of Francis Turbine

Satomi HAMADA* Takasuke YAMASAKI*
Mamoru NISHIOKA**

**Laboratory of Mechanical Engineering Faculty of Agriculture;*

***Research Laboratory of Hydrothermal Chemistry, Faculty of Science*

On Cavitation Erosion in Prototype Runner of Francis Turbine

Abstract: We studied deformation and pit formation features due to cavitation erosion in a prototype runner in a Francis turbine with a SEM (scanning electron microscope) and a regular microscope.

It was observed that the deformation in the runner were consisted of five types, each having own unique characteristics. Erosion due to cavitation displays a marked pattern of concave microjet "pitting" nature. However, the deformity in areas unaffected by cavitation differs significantly from cavitation erosion.

1 緒 言

従来からの実験室内でえられたキャビテーション損傷に関する数多くの研究成果は、水力機械の材料設計指針として大いに活用されている現状にある。

しかしキャビテーション現象そのものが複雑な要因によって成り立っている上に、多くの水力機械の実際上の使用に際しては、実験室内と異なり、土砂がまじったり、流れ場が複雑であったり、使用状況が過酷な環境である場合が多いために、今だに実験のキャビテーション損傷量の正確な予測を可能とする一般公式は見いだされていない。

それにもかかわらず近年より広い範囲での高速液流の利用が進み、それらの流れ下で生じるキャビテーション損傷状況の正確な予測という目標はより重要な課題となっている。

こういった背景から、実機でのキャビテーション損傷予測の当をえた研究を進めるにあたって、実際の流れ場や、運転状況の履歴と実物水車の損傷との詳細なる対応によって、実際上の損傷の挙動に関する情報がさらに蓄積されることが望まれる。

ここでは、使用ずみの実物水車について、そのキャビテーション損傷状況を観測し、二三の知見をえたので報告する。

2 供試資料とその諸元

ここで取り上げるランナは、高知県吾川郡吾川村大渡字210番地に昭和8年6月10日に設置（製造昭和7年3月）されたフランス水車で、主なる諸元を表1、2に、回収ランナの翼断面形状についてのスケッチの概略図を図1に示す（指定寸法以外は同じ縮尺）。ただし、スケッチの便宜上図1(a)中の各切断面の翼型のうち、断面C-C'、D-D'、E-E'、F-F'については、後縁端をスパン方向にむすんだ曲線上腹から背面方向にむかって法線をとった方向に切断した断面を示す。また、各切断面位置での前線と後縁端位置を点A'を基準にした相対位置を円筒座標で示すとA(255, 73.5°, 0) B(259, 75.5°, 93) B'(33, 7.5°, 93) C(261, 53.7°, 159) C'(65, 11.5°, 159) D(254, 46.5°, 218) D'(108, 15.5°, 218) E(256, 37.5°, 241) E'(143, 18°, 241) F(264, 33.5°, 253) F'(165, 21°, 253)であった。また、効率測定と同時に損傷部の肉盛り補修を行なった使用履歴を図2に示す。図中▽印はランナの取替時期、また矢印は補修時期を示す。ただし、ここで回収されたランナは1~3号機のうちのどれか区別がつかない状態で回収され、補修状況との対応が不明となったが、いずれも似た状況でほぼ一年毎に補修され、それ以前は4~5年で取替えられているとみてよいであろう。ここでとりあげたランナは昭和54年12月に最後に廃棄されたものである。

水車	公称最大出力	4300 kw
	基準出力	3500 kw
	基準落差	67 m
	基準出力時流量	6.8 m³/s
	定格回転速度	450 rpm
	比速度	154 (m-kw)
G D²		43.4 t-m²
水車保証効率	出力 100 %	86 %
	" 75 %	87 %
	" 50 %	81 %
	" 25 %	%
ランナ材質		特殊鋳鋼
平水時吸出(込)高さ		4.5 m

表1 水車の諸元 (a)

有効落差	最大水量時	67.0 ■	67.0 ■	67.0 ■
	常時尖頭時		■	■
	常時水量時		■	70.0 ■
使用水量	最大	20.4 m³/s	20.4 m³/s	20.40 m³/s
	常時尖頭	9.94 m³/s	11.89 m³/s	11.89 m³/s
	常時	7.46 m³/s	7.46 m³/s	5.62 m³/s
重量	特殊	12.94 m³/s	12.94 m³/s	m³/s
	最大	13,400 kw	13,400 kw	13,395 kw
	常時尖頭	6,530 kw	7,810 kw	7,807 kw
水重	常時	4,900 kw	4,900 kw	3,855 kw
	特殊	8,500 kw	8,500 kw	kw
	最大	10,500 kw	10,500 kw	10,500 kw
許可出力	常時尖頭	5,100 kw	6,100 kw	6,100 kw
	常時	3,800 kw	3,800 kw	2,800 kw
	特殊	6,700 kw	6,700 kw	7,700 kw
本使用年月日		昭和8・・	昭和14・・	昭和39・9・1

表2 水車の諸元 (b)

3 損傷状況の観察

写真1に損傷ランナの一部を示す。写真上部が出口である。写真を見てわかるようにランナライナ近くでは前縁から後縁にわたってほぼ背面全面に損傷が生じている。このようにほぼ一年一回の補修では、顕著な個所で翼厚の半分近くが損傷され、後縁端では欠損した個所が生じた羽根もある。

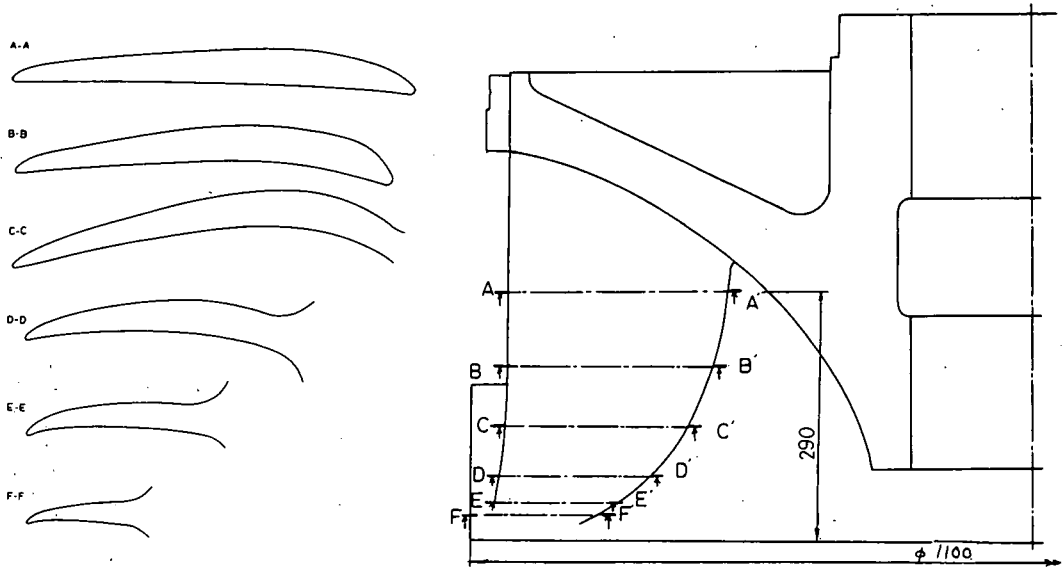


図1 ランナ形状と翼断面のスケッチ

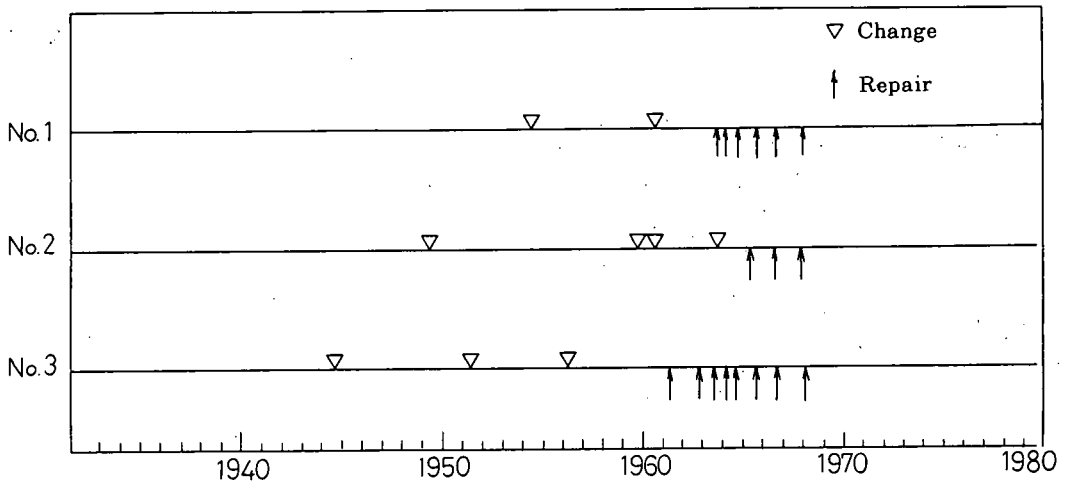


図2 ランナの取り替えと補修の履歴

さらにその表面を詳細に観測すれば、表3に示す箇所(座標の定義を図3に示す)が典型的なパターンの違いを示し、翼前縁から後縁にむかって次の5つのタイプの損傷パターンに分類できる。すなわち、写真2(a)~(e)に示すようにほぼ前縁より15%付近迄にみられるハンマーでたたいたようなうすい傷痕(タイプ(a))、最大厚み付近でみられる流れ方向へのひっかき傷状の傷痕(タイプ(b))ややそれから後方にむかって散在するすどい針でつきさしたような細孔状の損傷(タイプ(c))、40%~70%付近にみられる半径方向に生じている火山れき状の深い損傷(タイプ(d))。後縁95%付近で局所的にある細管列状の損傷(タイプ(e))がそれ等である。これを傷痕の様相からみればあたかもタイプ(a)は流入する土砂による衝突によって、タイプ(b)は土砂の細粒による

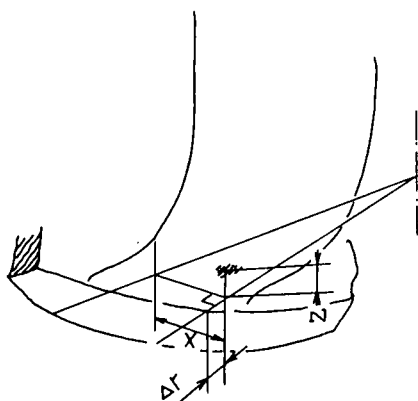


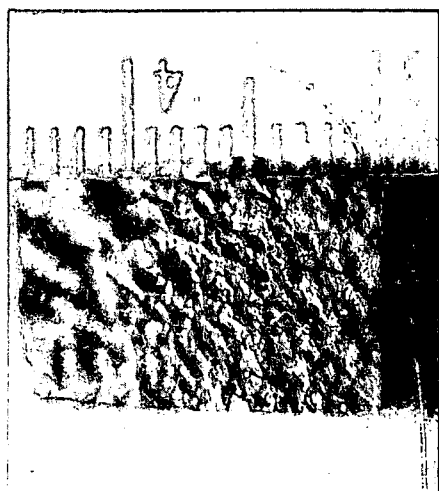
図3 典型的な損傷パターンを示す位置
 Δr : ライナ出口面内径から半径方向
 z : ライナ出口面内径から損傷部までの高さ
 x : 後縁から損傷部までの距離



写真1 損傷ランナ

	Δr (cm)	z (cm)	x (cm)
a	0.7	18.5	27.6
b	2.2	15.0	25.3
c	8.4	10.5	19.0
d	8.4	3.5	5.8
e	9.3	3.4	3.3
損傷が少 ない部分(f)	0.0	17.5	30.4

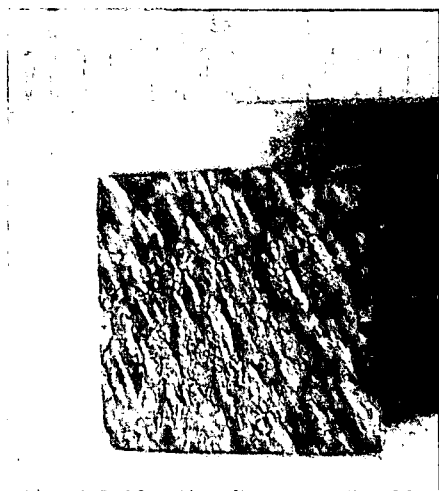
表3 損傷部(a)~(e)の座標



(c)



損傷が少ない部分



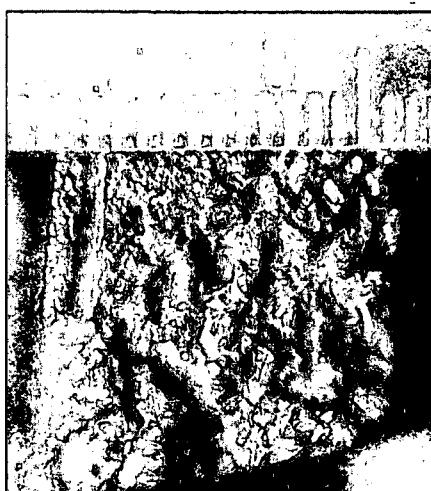
(b)



(e)



(a)



(d)

写真2 損傷面のスチール写真

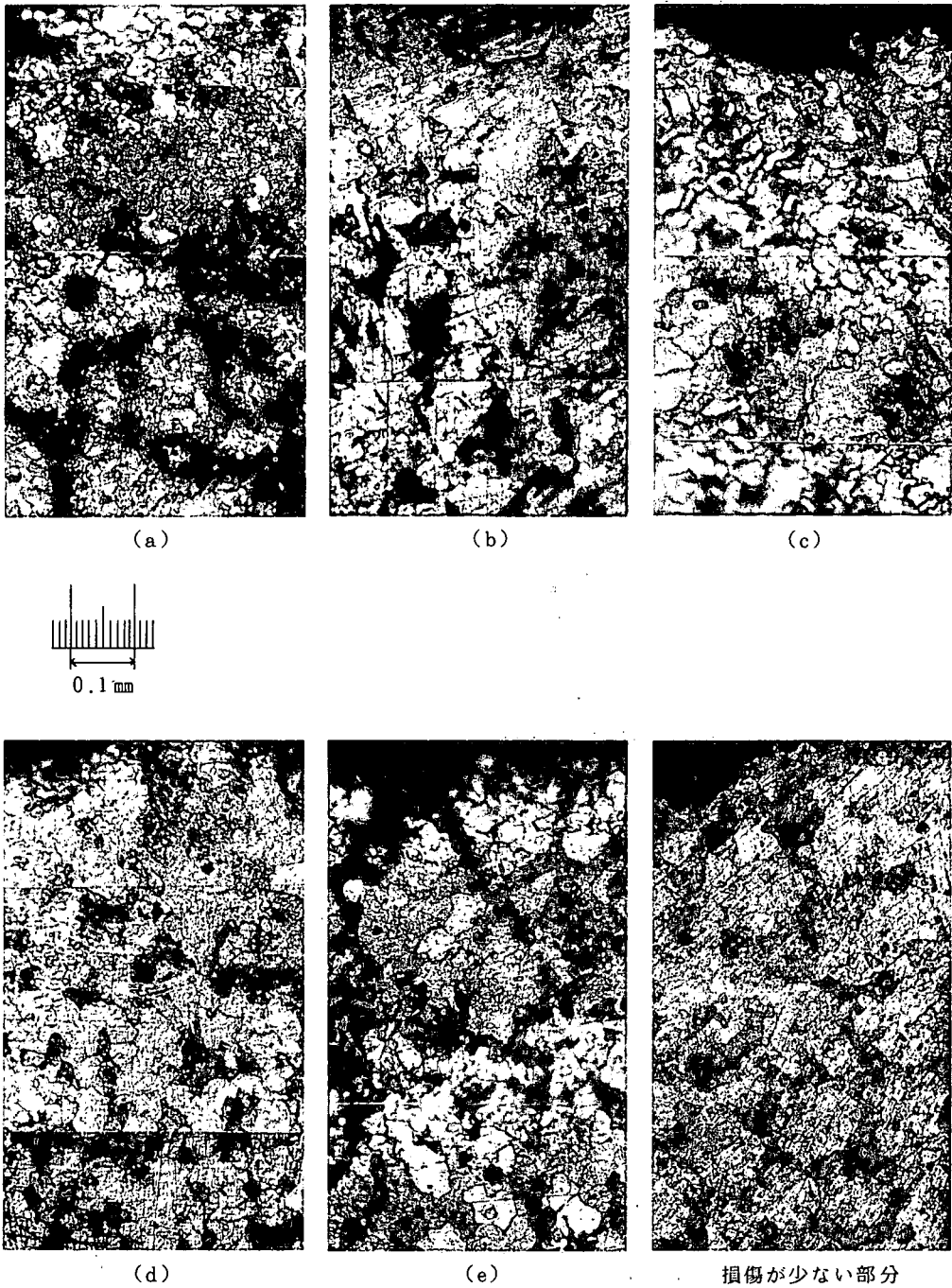


写真3 損傷部断面の金属顕微鏡写真

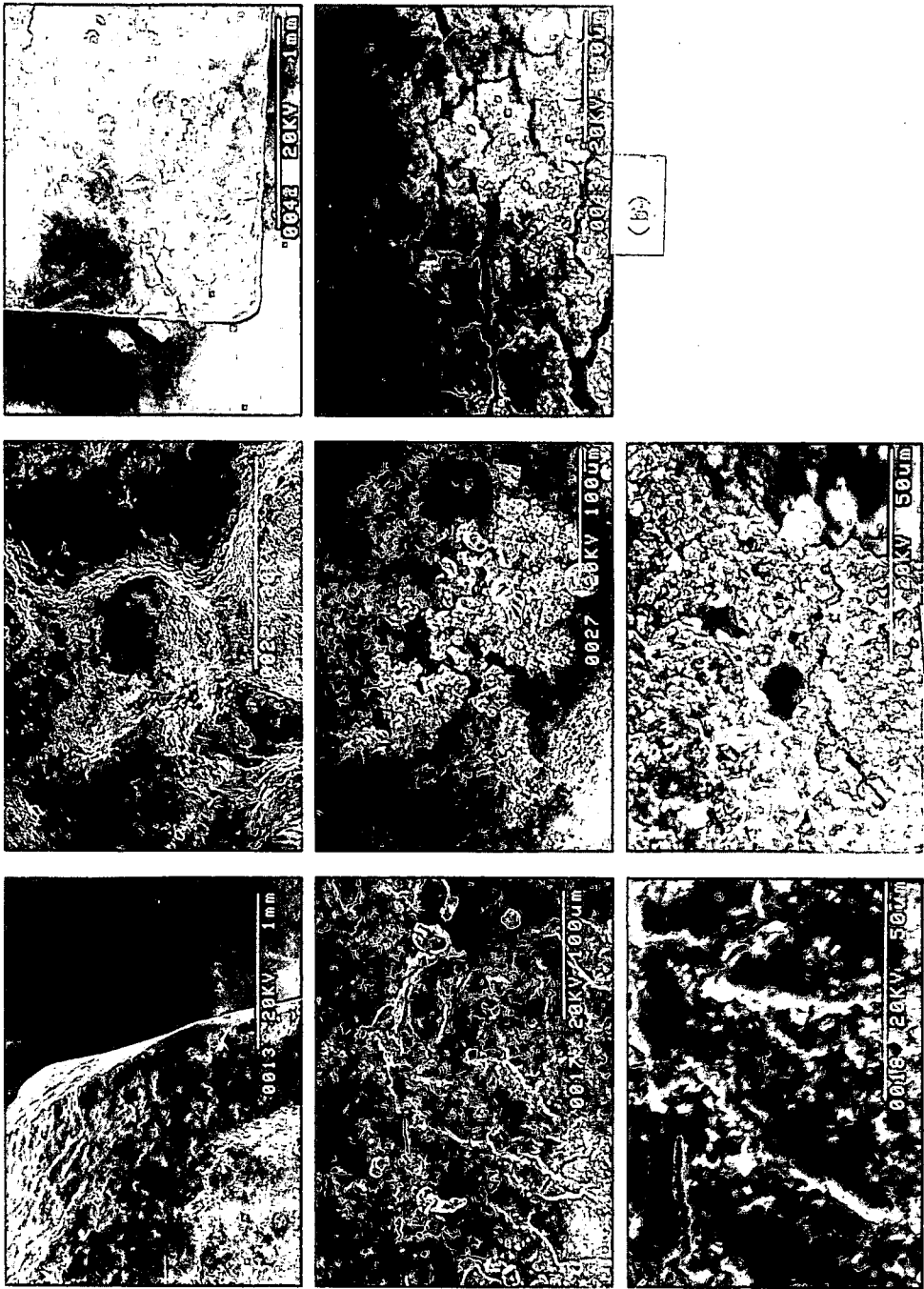
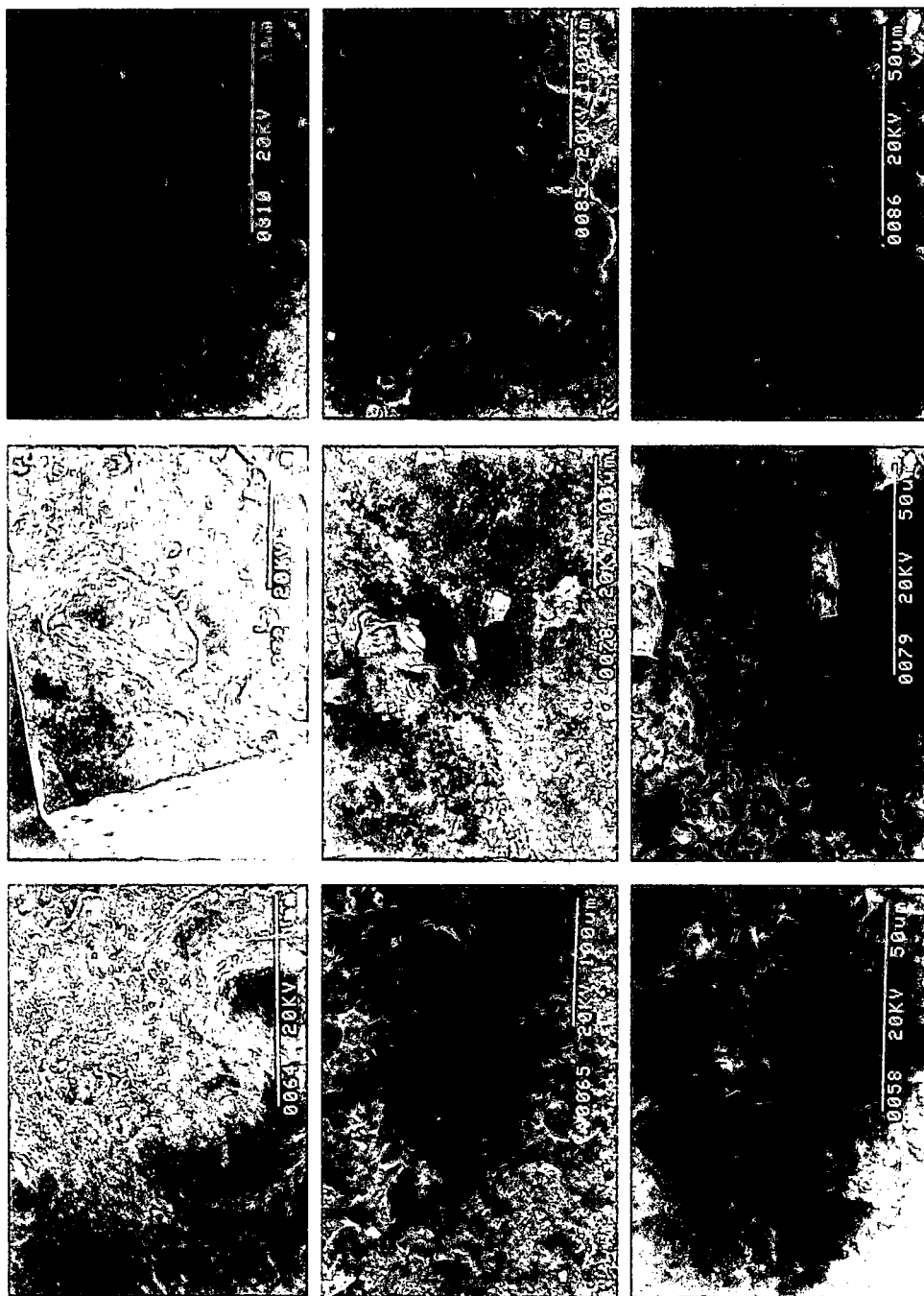


写真4-1 損傷部のSEM写真

(a)

(c)

(b)



損傷が少ない部分

(e)

(d)

写真4-2 損傷部のSEM写真

アブレーション損傷, タイプ(c)はマイクロジェットによる侵蝕によって, タイプ(d)はマイクロジェットと気液二相流の酸素リッチな環境下での侵蝕と腐蝕の相乗効果によって, タイプ(e)は細管列状気泡崩壊によって, それぞれ損傷を受けたかのような様相にみられるものの, そのメカニズムの原因説明は今後にまたねばなるまい。

さらにこれ等の5個の特徴をもつ箇所について断面方向の反射型顕微鏡による金相写真を写真3に示す。いずれの写真も鋳鋼としての白地のフェライト素地に網目状のパーライトが黒くみうけられ, 5箇所の表面の損傷パターンのちがいによって内部の組織に多少のちがいはみられるものの大きな変化はみられず, またスリップも生じていない。なおタイプ(d)の場合でも結晶粒界に達する深い亀裂もみられなかった。

つぎに走査型電子顕微鏡 SEM¹⁾²⁾による損傷面の表面写真を写真4に示す。

タイプ(a)では酸化皮膜と腐蝕による亀裂がみられるものの, 半球状凹部をもつ穴や, 針でつついたような細孔はみられない。これに対して, 明らかにキャビテーション損傷を受けたと判断されるタイプ(c)(d)(e)にはマイクロジェット跡と思われるような羽毛状層で形成された半球状凹部をもつ穴や直径約7 μ m \sim 0.5mm程度の細孔がみられる²⁾。またその表面は腐蝕によって生じた亀裂をもった表面がさらに細分化されちぎれた様相を示している。

これらのことから前縁, 最大厚み付近で生じたうろこ状面(a), すり傷面(b)の内部は単に平坦な亀裂面を示し, キャビテーション損傷面とは明確な特徴の違いを示すことがわかった。

4 結 論

実物ランナーに生じた現場のキャビテーション損傷について, 詳細に観察した結果, 特異な損傷形態に関する貴重な知見をえた。

今後のキャビテーションならびにキャビテーション損傷に関する研究に資するであろう。

最後に本研究にあたり, 東北大学高速力学研究所 神山新一教授より終始ご懇切なるご指導を賜りました。また, ここで取扱った水車に関する資料について, 格別の御盡力を賜りました当時四国電力佐川電力所の山崎弘彦氏の両方に対しまして深甚の謝意を表します。

5 文 献

- 1) Rao, P. V.: SEM Studies of Epoxy Resin During Flow Cavitation Erosion, International Symposium on Cavitation held at Sendai, Proceeding Vol. 1, pp. 335—341 (1986).
- 2) Koike, K., Kamiyama, S. and Zhou, Y. K.: Effect of Magnetic Field on Cavitation Damage in Liquid Metal and Distilled Water, *ibid*, pp. 329—334.

(昭和62年9月30日受理)

(昭和62年12月28日発行)