

1995 年兵庫県南部地震時の淡路島北部のため池堤体の向きと被害 Direction of Axis on small Embankment Dams and Damage due to 1995 Hyogo-ken-Nanbe Earthquake in Northern Awaji Island

藤井弘章

Fujii Hiroaki

1. はじめに：淡路島北部のため池は 1995 年兵庫県南部地震により、多くが被害を蒙ったが、更に多くが無被害であった。この要因を、文書資料(多変量解析)^{2)・7)}、現地資料(土質特性)⁶⁾から探ろうとしてきた。本報では、堤軸法線の向きと被害との関係、そのメカニズムについて、文献を参照して定性的な検討を試みる。

2. 研究方法：解析対象は、淡路島北部のため池堤体(堤長 10m 以上)で、5 町領域(現淡路市)の 1562(被害 348:無被害 1214)個、野島領域(cf. Fig. 1)の 395(112:283)個である。解析は、数量化理論Ⅱ類を用い、被害(堤体の斜面崩壊から補修を要するクラックまでを含む)の有・無への説明変数(震央距離、表層地質など 11 アイテムを想定)の関与を算定した。本報では震央角度(AE: 堤軸法線と、震央 E から堤軸中心 C を結ぶ直線 CE との交角)、断層角度(AF: 堤軸法線と、野島断層最近点 N の法線との交角)を取上げる。角度は 10 度ごとの 18 カテゴリーとし、被害との関わりはカテゴリースコア(CS: 他の影響を除いた被害への寄与値)で表す。

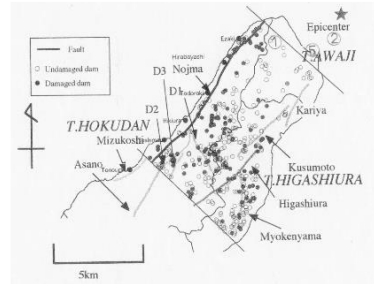


Fig.1 野島領域のため池と断層

3. 研究結果および考察：**震央角度の直交ペア**: Fig. 2 に、野島・領域の

Distribution dams and faults Nojima area

震央角度の CS を示す。ノイズとも見えるが、野島領域の CS の最大ピークは 10 度①(CS のピーク順位)にあり、これに直交の 100 度⑤にもピークがある(この組合せを「直交ペア」と呼ぶ)。(i) 10 度①と 100 度⑤の他、10 度以内の差を許容すれば、(ii) 30 度③と 130 度⑥、(iii) 70 度②と 150 度④がある。5 町領域においても、(iv) 10 度⑤と 100 度①、(v) 40 度⑥と 140 度③、(vi) 70 度④と 160 度②がある。10 度を震央にほぼ正対とすれば 100 度は直交、40 度と 140 度は斜交となる。これらのことは偶然とは考え難い。以下、地震学の文献を参考に検討する。**放射特性**: 菊地は本地震の地震波エネルギーの分布を算定し、方向の重要性にふれている¹⁰⁾。その基本的なパターンは、Fig. 3¹¹⁾⁹⁾¹¹⁾の下図の S 波の放射パターンに似ている。これは垂直横ずれ断層の破壊が単方向(この場合左から右)へ進む場合(S 波速度 vs の 90%の破壊速度 vr。野島断層の破壊にほぼ匹敵)の放射特性である。動径(方位依存性の放射特性係数の大きさ)に比例した加速度が、S 波(剪断波)では射出方向と直交方向に、P 波(圧縮波)は射出方向に働く。本研究では最大すべり(As)領域⁷⁾(最大地震波を射出した領域)の中心 As を原点とし、野島断層に平行な直線(方位角 N40° E)を x1 軸とし、かつ「As≒震央」とする。As (および x1 軸)から、放射特性により強調された、軸・軸直交方向の S 波(S1・S3、山・海側の斜交方向へ P 波(Pm・Ps)が射出される。この加速度に正対する堤体(震央角度理論値: 90°・0°、135°・45°)が最も被害を受易いと言える。(T i) 0°と 90°、(T ii) 45°と 135°は理論値の直交ペアであり、10 度の差を許容すれば、5 町領域の(iv)と(v)に一致する。ただし、(vi)に対応する理論値の直交ペアはない。**法線方位角**(Fig. 4): 野島・5 町両領域の堤軸法線の方位角の CS のピークは、両領域共 30 度と 50 度に生じている。今までの

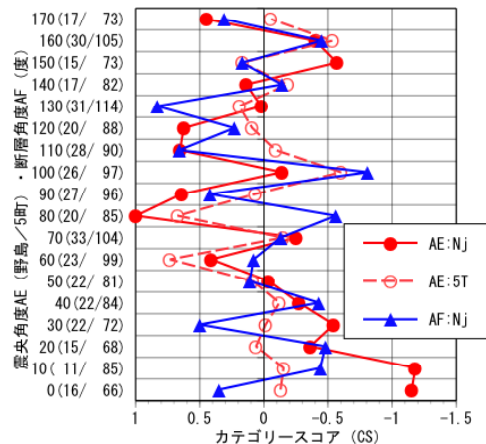


Fig.2 震央角度・断層角度のカテゴリースコア
Category score of Angle to Epicenter and to Fault

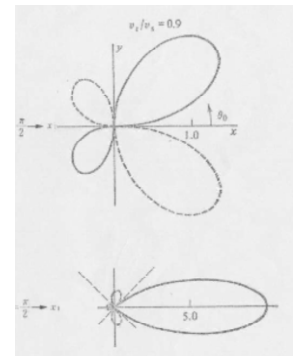


Fig.3 放射パターン Radiation pattern

岡山県土地改良事業団体連合会, Okayama Prefectural Federation of Land Improvement Association,

キーワード 土構造物の地震時挙動, 震央角度、断層角度、多変量解析、放射パターン

論議とは異なる2つ目のピークがある。さらに、それぞれにほぼ直交方向の110(=30+90-10)度,130(=50+90-10)度にもピークがある。**As'系の存在の仮説**: Fig.1の野島断層の形状は、緩やかなS字型をしている。これは概略3本(Ni)の直線で近似できる。x1軸と同様に、これらに平行にNix軸を引くとFig.5のようになる(「3直線モデル」,前者を「1直線モデル」とする)。方位角は、N1x軸とN3x軸が50°,N2x軸が30°であり、両者の交角は20°である。これは、Fig.4の方位角のピーク角度に一致する。このことは、Asを中心とする最大すべり領域(As系)の他に、20度ずれて発震源である第2の最大すべり領域(As'系)があることになる。そして、As'がN2x軸上にあることを示唆する(震度7地帯にあたる⁸⁾)。As'系の、震央角度の理論値は20°と110°,65°と155°となる。Table 1に、CSのピーク角度(1)に対応する、As系およびAs'系の理論値(2)および対応する地震波(3)を示した。As'系の地震波には「'」を付した。2つの理論値に対応するピーク角度もあるが、理論値と実測値はほぼ対応している。**震央角度と断層角度**: x1軸上で、震央角度0°(堤軸法線とx1軸が一致)の堤体の断層角度は90°となり、余角の関係にある。Table 1に震央角度の理論値(2)の余角(断層角度の理論値(6)),および10度以内の差の断層角度のピーク角度(7),その順位(8)を付した。余角関係は、理論値8組に対し、ピーク角度は6組成立している。そして断層角度の直交ペアは、As系が100度①と10度③、40度⑤と140度⑥、As'系が、20度③と120度⑦、80度②と160度④の4組が成立する。それぞれ理論値、地震波と対応している。

4. おわりに: 震央角度・断層角度の直交ペアは、理論値がそれぞれ4組ずつに対し、ピーク角度は3-4組成立する。また、両者の余角が理論値8組に対し、異なる基準で得た震央角度と断層角度の計測値を用いた、多変量解析のCSのピーク角度は6組成立した。このことは、各角度のCSのピークは単なるノイズではなく構造的なものであると言え、Asあるいは震源断層に対し、直交・正対・斜交の堤体は被害を受け易いと言える。両者が整合したのは、淡路島の特性(北東-南西へ延びる細長い地形)と震源断層特性(野島断層がほぼ鉛直、1・3直線で近似可),および10度の許容差を設定したこと等が挙げられる。これらのため、大半のため池の基準線(方位角26-81度)が理論値(x1軸)の許容範囲内(方位角40±10度)にあり、移動震源の放射パターンが適用できたことによる⁷⁾。

謝辞: 貴重な資料を貸与頂いた兵庫県の関係各位、多変量解析のためのデータの作成、結果の整理に協力頂いた難波明代・国政華菜は

じめ岡山大学、農学部農業造構学1996・1997卒業生、環境理工学部西村伸一教授(当時講師)、ご助言を頂いた垂水共之名誉教授(多変量解析)、京大防災研岩田知孝教授・澁谷拓郎教授、東北大学源栄正人教授(地震学)に謝意を表す。特に澁谷先生には多岐に亘るご助言を頂き、心から謝意を表す。また、本研究にモチベーションをお与え頂きお励まし頂いた京都大学名誉教授(元総長)沢田敏男先生、アメリカ合衆国インディアナ州立Purdue大学(地盤工学科)名誉教授 A.G. Altschaeffl先生に心より御礼申し上げる。**引用文献**: 1) Aki, K., Richards, P.G.: 上西他訳(2004): 地震学, 古今書院 2) Fujii, H., et al.(2000): Soils and Foundations, 40(6), 117-131. 3) 藤井他(2002): 岡大環境理工学部研究報告, 7(1), 55-74. 4) 藤井他(2005): 自然災害科学, 24(1), 59-78. 5) 藤井他(2010): 13 日本地震工学シンポジウム論文集, 760-767. 6) 藤井 (2014): 農農工論文集, 82(1), 1-17. 7) 藤井 (2014): 14 日本地震工学シンポジウム論文集, 1542-1551. 8) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会(1998): 阪神・淡路大震災調査報告共通編2. 9) Kasahara, K.: 笠原慶一訳(1995): 地震の力学, 鹿島出版会. 10) 菊地正幸(1996): 地震の力学, パリティ編集委員会編, 丸善. 11) Lay, T., T.C. Wallace: 柳谷俊訳: 地震学, 古今書院

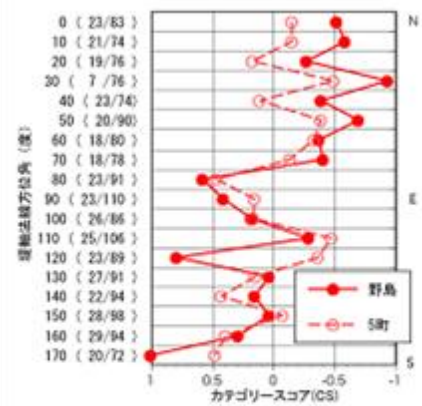


Fig.4 方位角のカテゴリースコア
Category score of Azimuth on Njima- and 5T-area

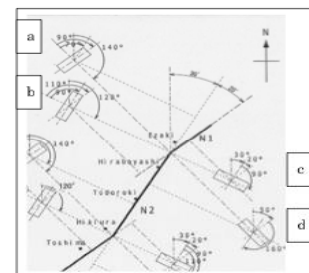


Fig.5 3直線モデル
Three lines model

Table 1 震央角度と断層角度のCSピーク角度と理論値
Angle of Peak on CS and of theoretical them

セット 記号 No	震央角度 (AE)			断層角度 (AF)				
	CSピーク 角度 (度)	対応 理論 値(°)	対応 地震 波	5町(5)		野島領域(NJ)		
				ピーク 順位	(2)の 余角 (°)	CSピーク 角度 (度)	ピーク 順位	
a	10	0	S3	⑤	①	90	100 (80)	① (②)
b	30	20	S3'	—	③	110	120	⑦
c	40	45	Pm	⑥	—	135	140	⑥
d	70	65	Pm'	④	④	155	160	④
e1	100	90	S1	①	⑤	0	10	③
e2		110	S1'			20	20	③
f	130	135	Ps	—	⑥	45	40	⑤
	140			③	—			
g	150	155	Ps'	—	②	65	—	—
	160			②	—		80	②