การวิเคราะห์ เพื่อ ออกแบบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน

Reference:
วรวุฒิ ปิณฑะบุตร. 2554. กรณีศึกษา การออกแบบและคุมงานเขื่อนแควน้อย. เอกสารประกอบการอบรม "การวิเคราะห์เพื่อออกแบบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน", ระหว่างวันที่ 5,7 และ 8 เมษายน 2554, จัดโดย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ Thai Geotechnical Society (TGS), ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพฯ.

กรณีศึกษา การออกแบบและคุมงานเขื่อนแควน้อย

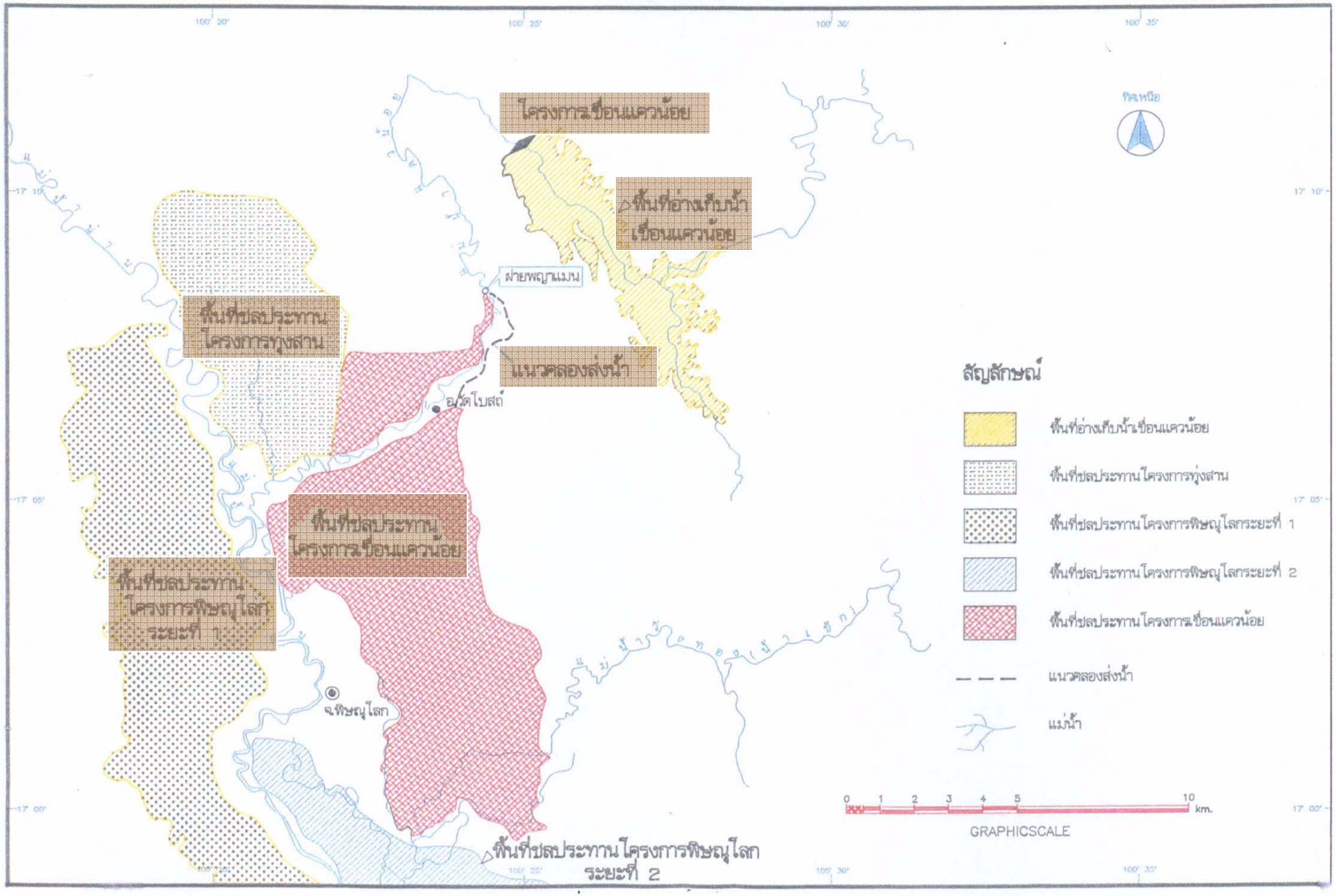
7 เมษายน 2554

ณ ห้องซูปีเตอร์ โรงแรมมิราเคิล แกรด์ คอนเวนชั่น

หัวข้อที่จะนำเสนอ

- ที่ตั้งและขอบเขตโครงการ
- การศึกษาและออกแบบโครงการเขื่อนแควน้อย
- การควบคุมงานก่อสร้าง
- การบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบ
- การศึกษา Dam Break

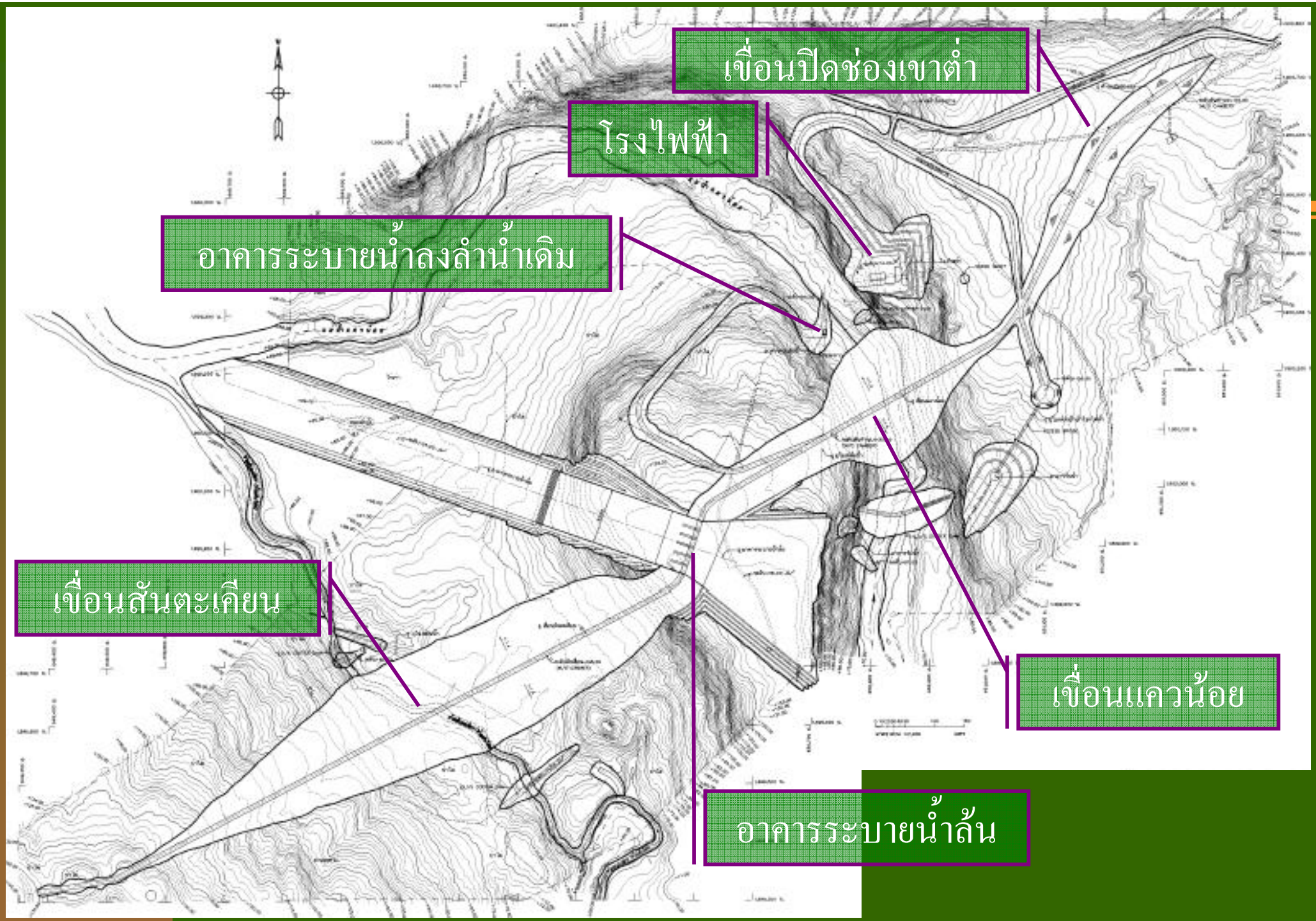
โครงการเขื่อนแควน้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ



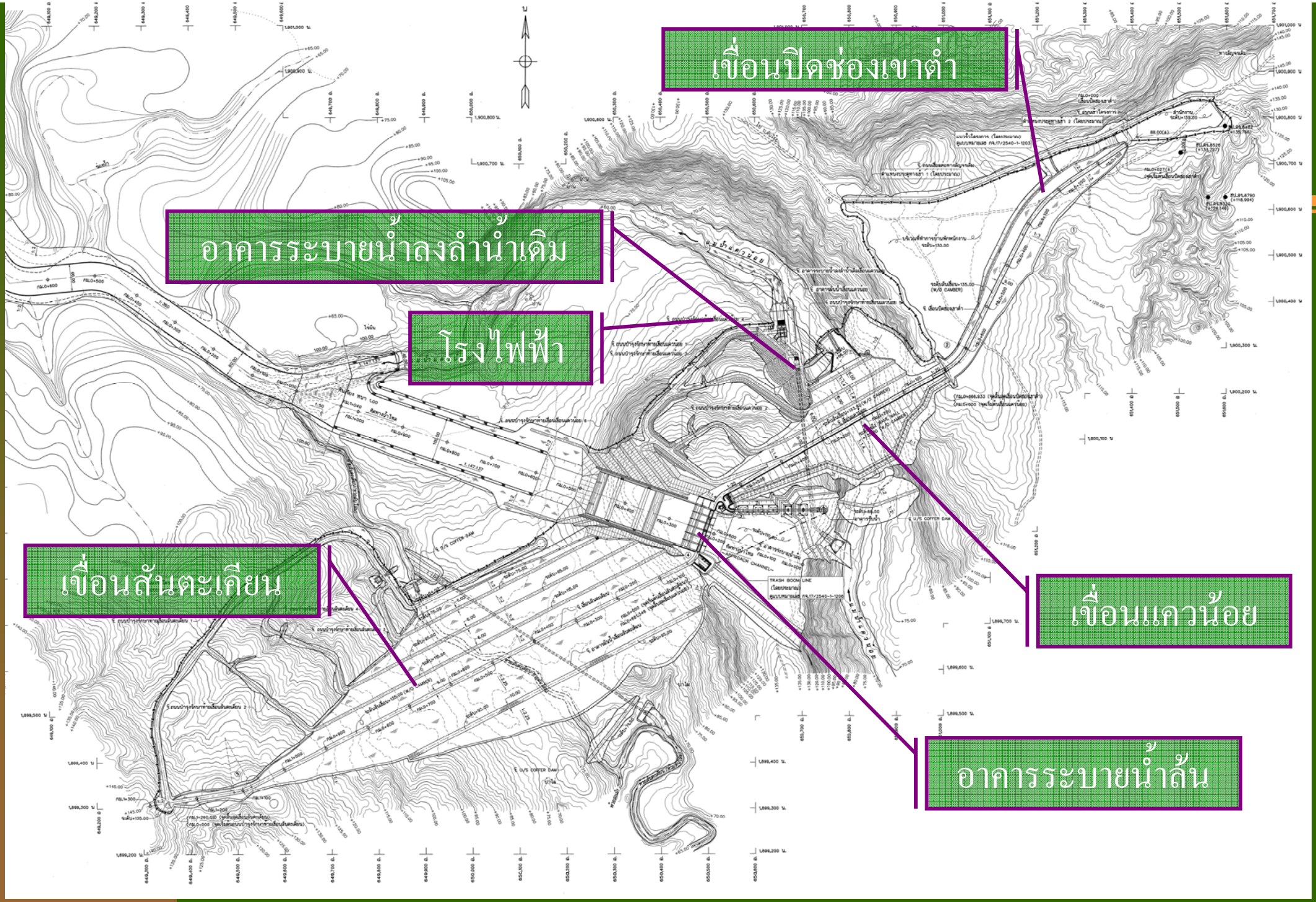
ที่ตั้งและขอบเขตโครงการ

การศึกษาและออกแบบโครงการเขื่อนแควน้อย


พื้นที่รับน้ำฝน 4,254 ตร.กม.
ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,352 มม.
ปริมาตรที่ระดับน้ำสูงสุด 769 ล้าน.ลบ.ม.
ปริมาตรที่ระดับเก็บกักปกติ 733 ล้าน.ลบ.ม.
ปริมาตรที่ระดับน้ำต่ำสุด 36 ล้าน.ลบ.ม.
บ้านแก่งเจ็ดแคว
เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ
เขื่อนแควน้อย
เขื่อนสันตะเคียน
แนวถนนเข้าหัวงาน

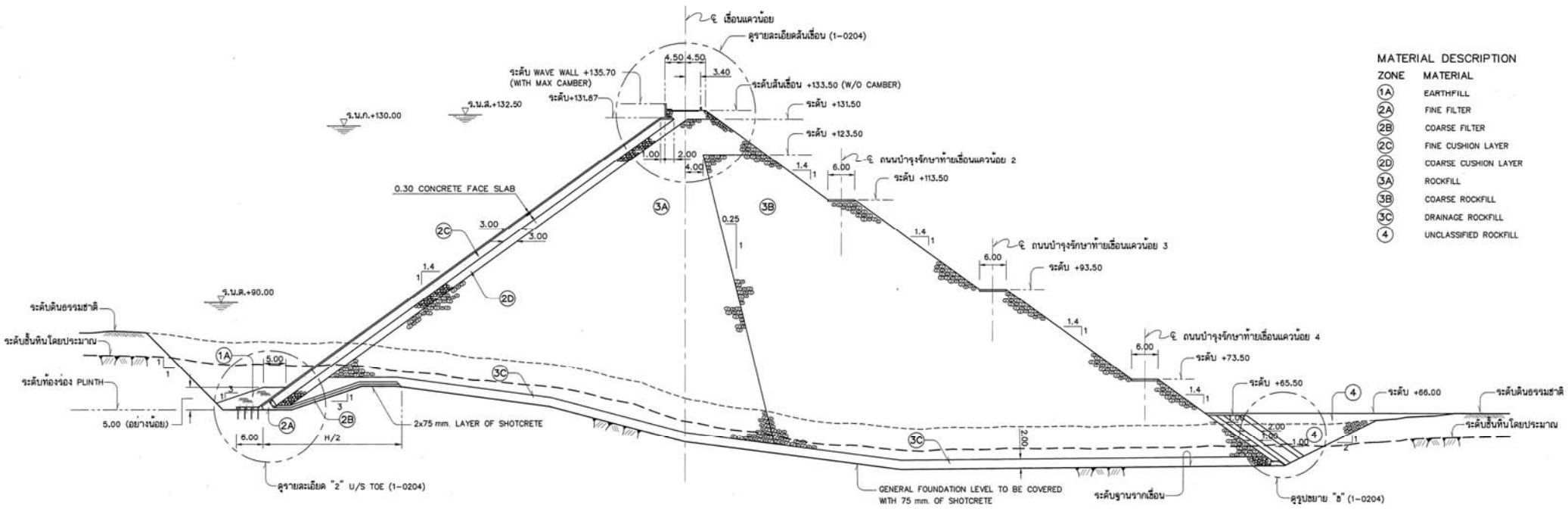


Layout เขื่อนขั้นศึกษาความเหมาะสมและทบทวนโครงการ



Layout เขื่อนขั้นออกแบบรายละเอียด

เขื่อนแควน้อย



รูปตัดตามขวางตัวเขื่อนแควน้อย

ชนิดของเขื่อนแควน้อย	Concrete Faced Rockfill Dam
ระดับสันเขื่อน	+135.00 ม.รทก.
ความยาวสันเขื่อน	570 เมตร
ความสูงเขื่อน	75 เมตร

Construction parameters of some CFRD

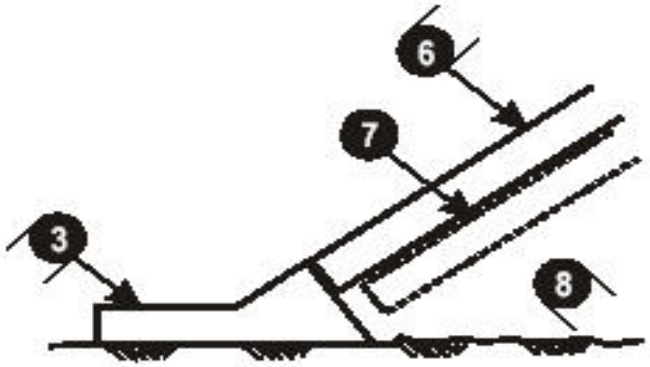
Table 5. Construction and behavior parameters of some CFRDs

No.	Dam	Country	Year	Height (m)	Length (m)	Face Area (10^3 m^2)	Shape Factor (A/H^2)	Slopes	Rock Type
1	Cethana	Australia	1971	110	215	30	2.5	1.3, 1.3	Quartzite
2	Alto Anchicaya	Colombia	1974	140	260	22.3	1.1	1.4, 1.4	Hornfels
3	Little Para	Australia	1977	54	–	10	3.4	1.3, 1.4	Shale
4	Sugaroaf	Australia	1979	85	1050	83	11.5	1.3, 1.4	Siltstone
5	Foz do Areia	Brazil	1980	160	828	139	5.4	1.4, 1.4	Basalt
6	Mackintosh	Australia	1981	75	465	27.5	4.9	1.3, 1.3	Greywacke
7	Mangrove creek	Australia	1981	80	384	29	4.5	1.5, 1.6	Siltstone
8	Tullabardine	Australia	1982	26	200	5.5	8.1	1.3, 1.3	Greywacke
9	Murchison	Australia	1982	94	200	17	1.9	1.3, 1.3	Rhyolite
10	Fortuna 1st	Panama	1982	60	1056	22	6.1	1.3, 1.4	Andesite
11	Bastyan	Australia	1983	75	430	19	3.4	1.3, 1.3	Rhyolite
12	Khao Laem	Thailand	1984	130	1000	140	8.3	1.4, 1.4	Limestone
13	Shiroro	Nigeria	1984	125	560	65	4.2	1.3, 1.3	Granite
14	Kotmale	Sri Langka	1984	97	620	60	6.4	1.4, 1.45	Gneiss
15	Dongbok	Korea	1985	44.7	188.1	7	3.5	1.5, 1.5	Andesite
16	Lower Pieman	Australia	1986	122	360	37.8	2.5	1.3, 1.3–1.5	Dolerite
17	Pyonghwa(1st)	Korea	1988	80	410	45.7	7.1	1.5, 1.5	Gneiss
18	Guanmenshan	China	1988	58.5	183.6	8.2	2.4	1.4, 1.59	Andesite
19	Chengbing	China	1989	74.6	232	15.8	2.8	1.3, 1.3	Tuff
20	White Spur	Australia	1989	43	146	4.3	2.3	1.3, 1.3	Tuff
21	Xibeikou	China	1989	95	222	29.3	3.3	1.4, 1.4	Limestone
22	Longxi	China	1990	58.9	140.5	7.07	2.0	1.3, 1.3	Tuff
23	Zhushuqiao	China	1990	78	245	23	3.8	1.4, 1.7	Limestone
24	Huashan	China	1993	80.8	160.4	13.03	2.0	1.4, 1.4	Granite
25	Segredo	Brazil	1993	145	705	86	4.1	1.3, 1.2–1.4	Basalt
26	Xingo	Brazil	1994	150	850	135	6.0	1.4, 1.3	Granite
27	Wananxi	China	1995	93.8	210	18	2.0	1.4, 1.4	Granite
28	Buan	Korea	1996	50	282	18.2	7.3	1.4, 1.4	Rhyolite
29	Tianshengiao	China	2000	178	1168	156	4.9	1.4, 1.25	Limestone
30	Yongdam	Korea	2001	70	498	43	8.8	1.4, 1.4	Schist
31	Miryang	Korea	2001	89	535	54	6.8	1.4, 1.4	Granite
32	Namgang	Korea	2001	34	1126	41.8	36.2	1.5, 1.5	Gneiss
33	Machadinho	Brazil	2002	125	700	77.3	5.0	1.3, 1.2	Basalt
34	Sancheong(L)	Korea	2002	70.9	286.1	31.7	6.3	1.4, 1.4	Granite
35	Sancheong(U)	Korea	2002	86.9	360	23	3.1	1.4, 1.4	Gneiss
36	Tamjin	Korea	2005	53	403	30	10.7	1.4, 1.8	Tuff
37	Yangyang	Korea	2005	72	347	26	5.0	1.4, 1.4	Gneiss
38	Daegok	Korea	2005	52	190	10	3.7	1.4, 1.8	Gneiss

พฤติกรรมการรับแรง

A

B



C

- A Embankment deformations under water load
- B Movements in plane of face slab
- C Face displacement at perimetric joint
- 1 Crest settlement
- 2 Face settlement
- 3 Plinth
- 4 Face joints
- 5 Direction of movements
- 6 Face
- 7 Face position after water load
- 8 Rockfill

การออกแบบ Plinth

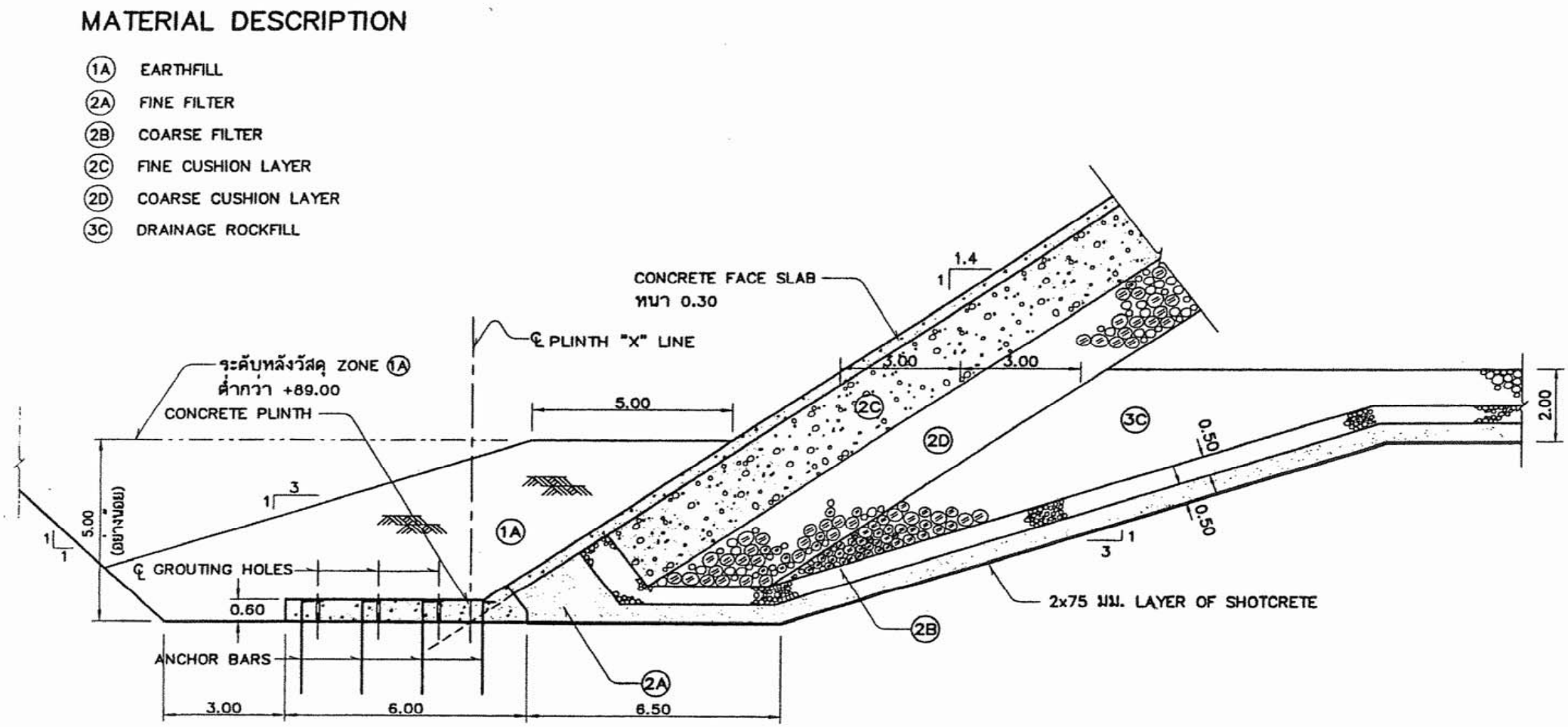


Figure 2-1 THE FILTER MATERIALS FOR THE CONCRETE FACED ROCKFILL EMBANKMENT

การกำหนดความกว้าง Plinth

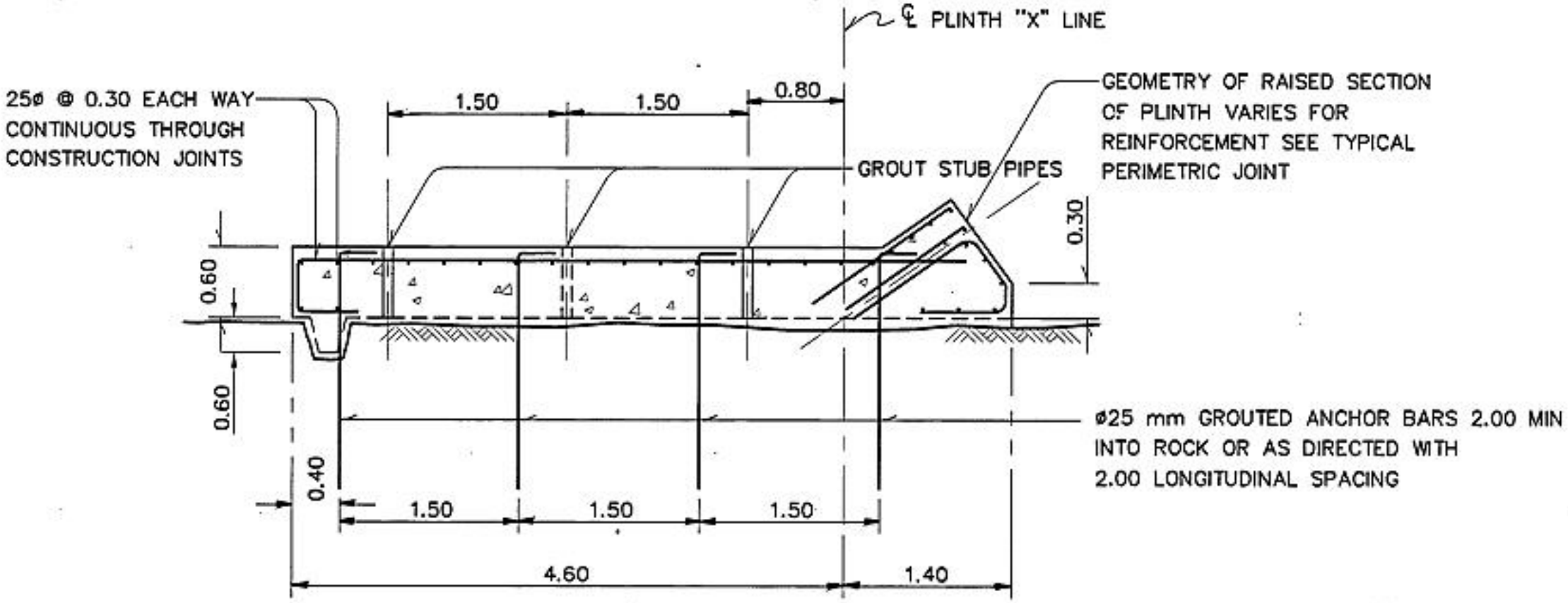
A	B	C	D	E	F	G	H
I	Non-erodible	1/18	>70	I to II	1 to 2	<1	1
II	Slightly erodible	1/12	50-70	II to III	2 to 3	1 to 2	2
III	Erodible	1/6	30-50	III to IV	3 to 5	2 to 4	3
IV	Highly Erodible	1/3	0-30	IV to VI	5 to 6	>4	4

Where:

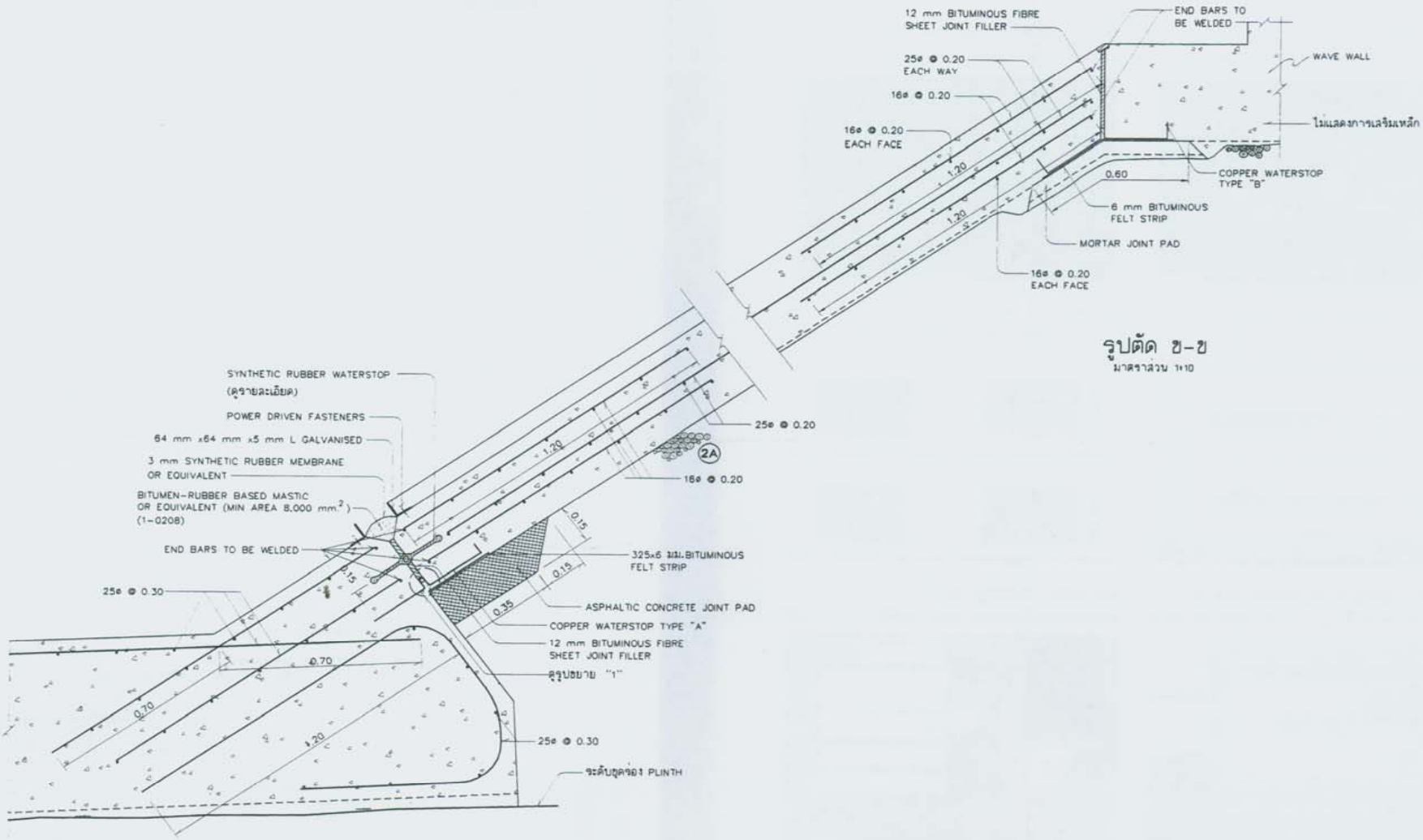
A = Foundation Type
B = Foundation Class
C = Minimum Ratio: Plinth Width/Depth of Water, full reservoir
D = Rock Quality Designation, RQD, in %
E = Weathering Degree: I equals sound rock; VI equals residual soil
F = Consistency Degree: 1 equals very hard rock; 6 equals friable rock
G = Weathered Macro Discontinuities per 10 m
H = Excavation Classes:

1 = requires blasting
2 = requires heavy rippers; some blasting
3 = can be excavated with light rippers
4 = can be excavated with dozer blade

รายละเอียด Plinth



Perimetric Joint



พฤติกรรมของ Perimetric Joint

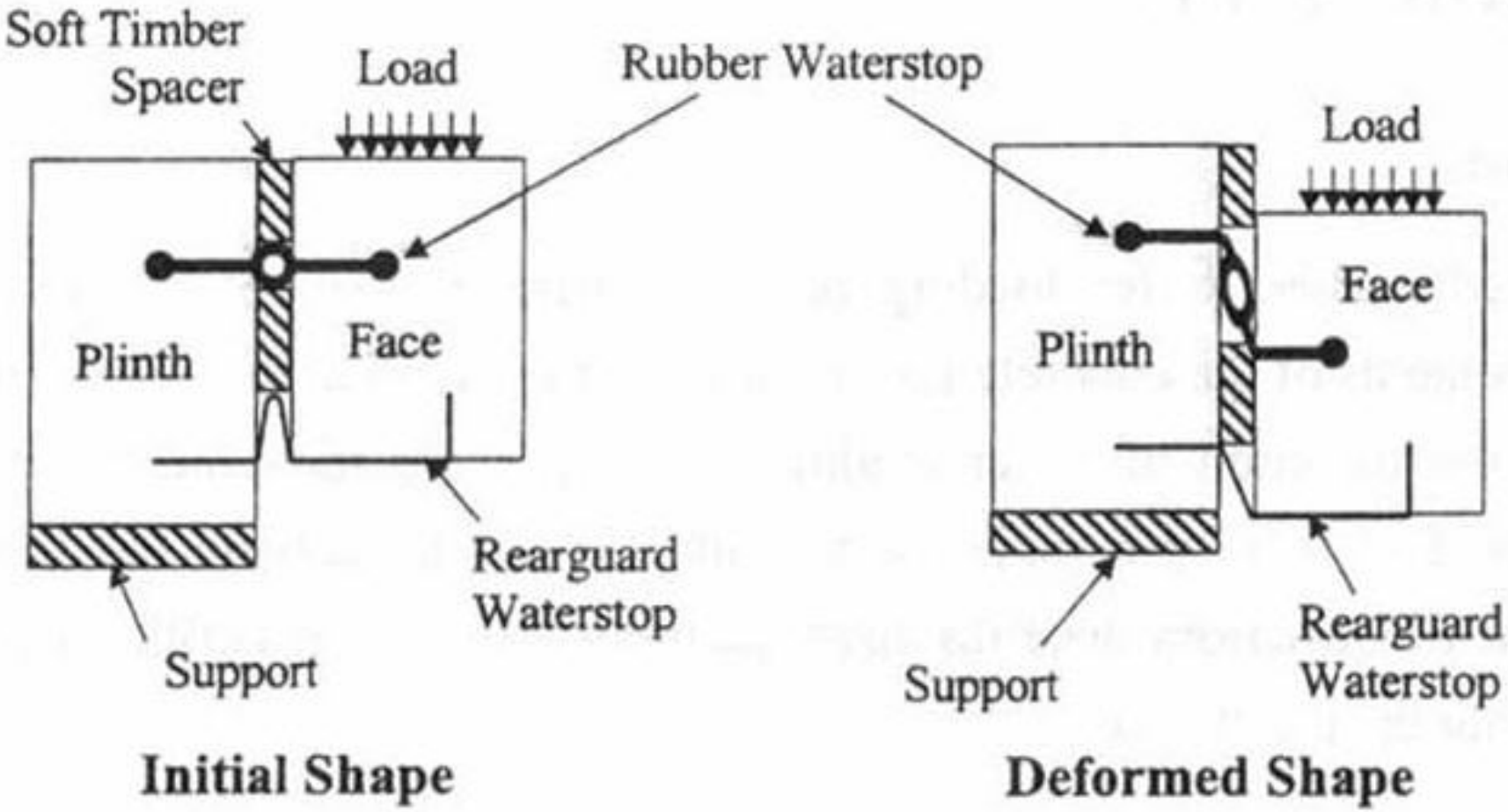
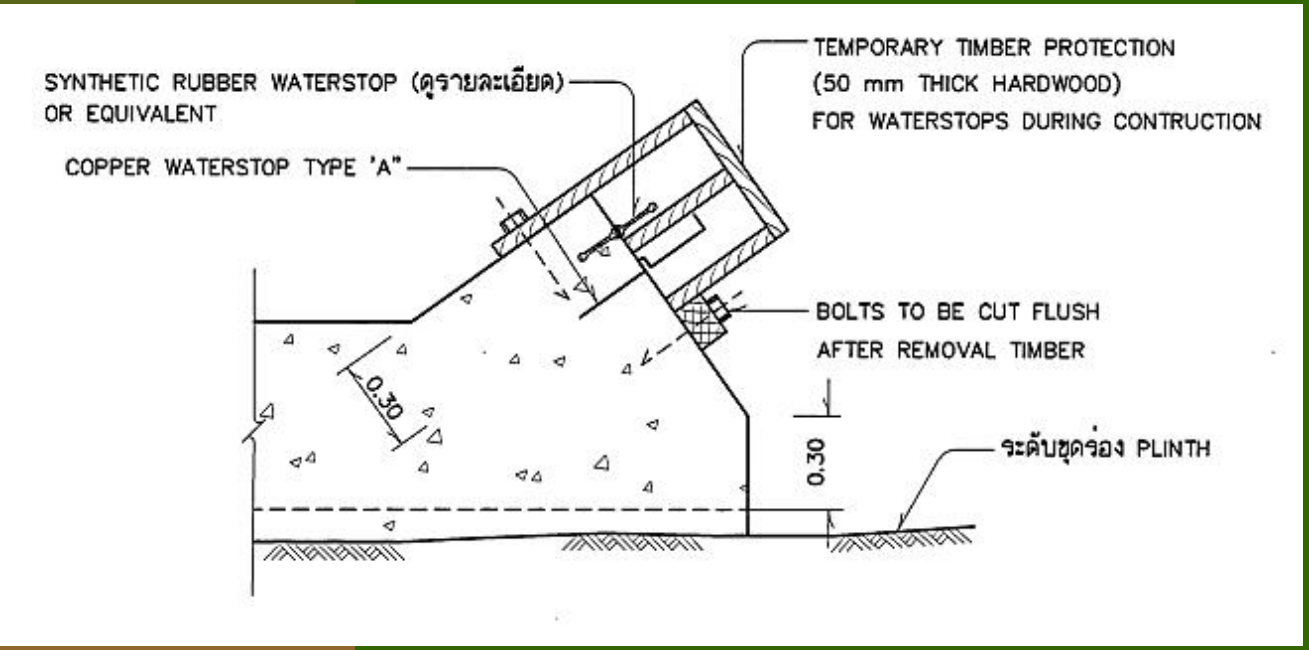
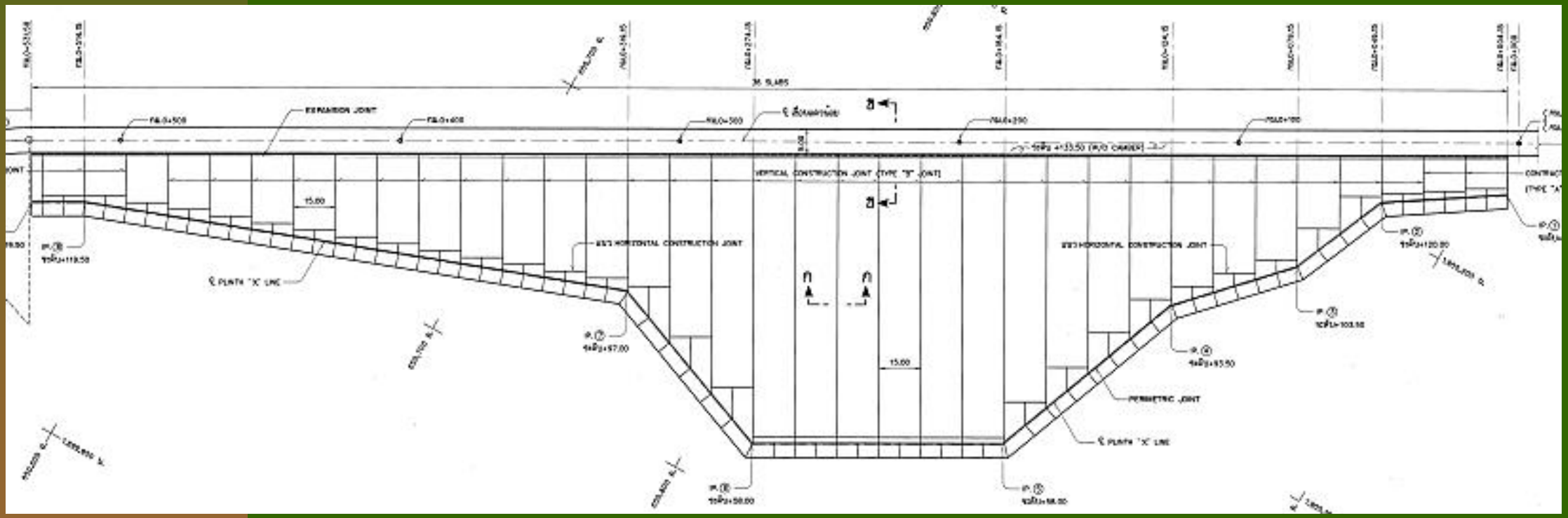


Figure 4 - Perimetric Joint Waterstop Test

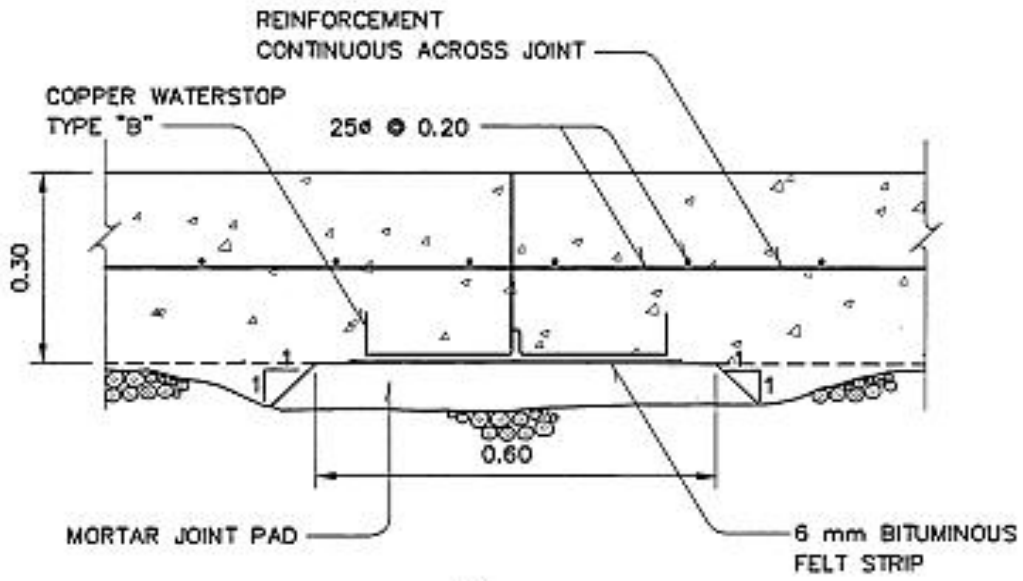
การป้องกัน Waterstop



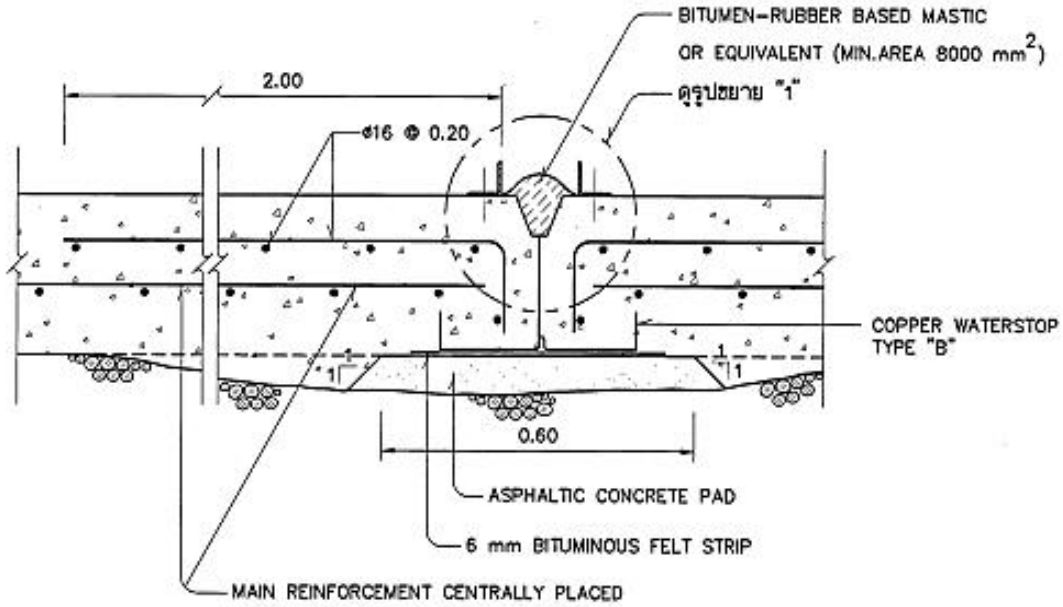
Face Slab ของเขื่อนแควน้อย



Vertical Joint



รูปตัด ก–ก
(VERTICAL CONSTRUCTION JOINT)
(TYPE "B" JOINT)
ไม่แสดงมาตราส่วน



VERTICAL CONTRACTION JOINT
(TYPE "A" JOINT)
ไม่แสดงมาตราส่วน

ความหนา Face Slab

CFRD Face Slab Thickness, Current Practice

Head of Water (H)	Face Slab Thickness (t)
> 100m	0.3m + 0.002H* to 0.3m + 0.004H*
50m to 100m	0.3m
< 50m	0.25m

* H = Head of water above plinth in meters

คุณสมบัติของหินถมแควน้อย

แหล่งวัสดุ	Material	Water Content (%)	Specific Gravity	Water Absorption (%)	Loa Angeles Abrasion (%)	Soundness (%)	Uncontfined Strength (Mpa)	Sake Durability Cycle 1 (%)	Sake Durability Cycle 2 (%)
เขาทิมลาด และสันตะเคียน	Sandstone	0.2 – 6.4	2.5 – 2.7	0.5 – 3.4	31 – 41	0.4 – 5.7	35 – 82	99 – 100	99
	Silty Sandstone	0.6 – 1.3	2.4 – 2.6	1.5 – 3.1	48 – 66	0.9 – 2.41	2 8- 50	97 – 98	96 – 98
	Silstone	1.0 – 5.5	2.5 – 2.6	1.3 – 5.0	39 – 49	2.7 – 6.29	29 - 39	74 – 96	60 – 93
บ้านมาเจิน	Diorite	0.23 - 0.30	2.68	0.34 - 0.40	15.73 - 19.96	0.17 - 0.18	65.23 - 88.73	99.12 – 99.63	99.47 - 98.86
บ้านบ่อทอง	Limestone Andesite	-	2.77 – 2.78	0.18 - 0.24	21.60 - 28.43	0.28 - 2.59			
มาตรฐาน ASTMC-33			>2.56	Max 5%	Max 50%	Max 12%			

คุณสมบัติของหินถมในเขื่อนอื่นๆ

Table 14.2. Some properties of rockfill for concrete face rockfill dams.

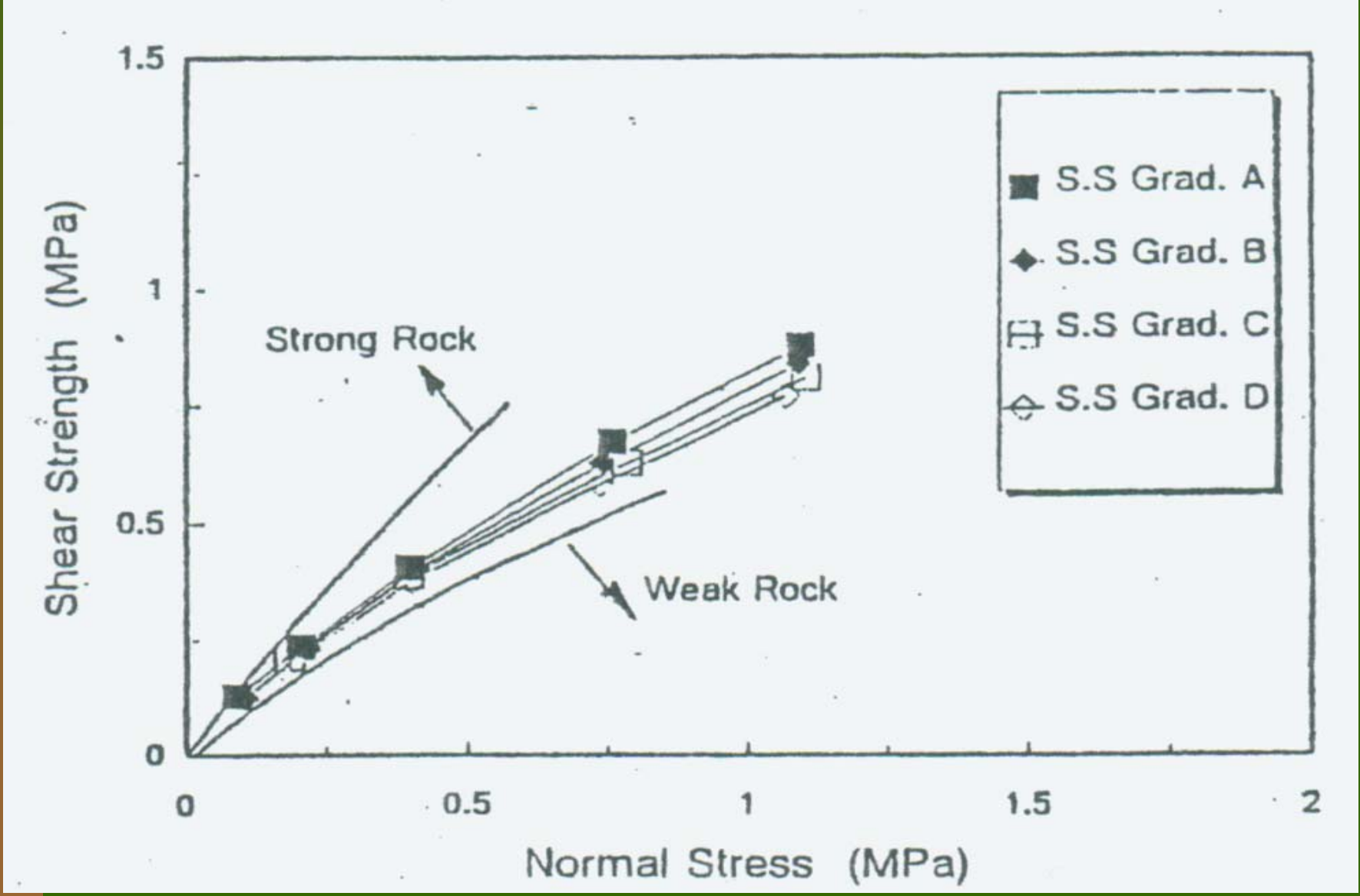
Dam	Rock type	Weathering grade	Bulk density (t/m^3)	Absorption (%)	Unconfined strength		SSD/OD	Point load strength (MPa)
					Oven dry (MPa)	Saturated surface dry (MPa)		
Mangrove Creek	Sandstone	FR	2.25	5.1	44.9	22.6	0.5	1.48-1.82
		W	2.11	6.7	26.0	10	0.38	0.55-0.74
	Inter. Siltstone & Inter. Siltstone	FR	2.44	3.7	64	29.6	0.46	1.44-2.25
	Sandstone	W	2.53	3.0	55			
	Siltstone	FR	2.55	2.7	44.5	25	0.56	
	Claystone	FR	2.71	2.1	18	12	0.67	
Winneke	Sandstone, siltstone	SW & FR	–	–	30-114, Av. 58			0.9-17, Av. 13
	Claystone	MW-HW			17-42, Av. 24			0.2-9.2, Av. 7
Glennies Creek	Welded tuff	FR	2.57	0.9	325		0.8	
		FR-SW	2.38	3.6	217		0.7	
		SW-MW	2.42	2.8	228		0.6	
		FR-SW	2.35	4.1	184		0.64	
		SW-MW	2.24	5.1	139		0.56	
Brogo	Granodiorite	M-E	2.53-2.03	0.81-1.85	10-42		0.39-0.5	
		FR	2.65-2.7	0.13-0.51	60-127		0.45-0.89	
Pindari	Porphry	FR(1)	2.36-2.42	2.9-3.8	97, 112		0.42, 0.86	
		FR(2)	2.50-2.6	0.7-1.5	100, 183		0.62, 1.02	
		FR(3)	2.4-2.52	1.5-3.4	166		0.81	
		SW(1)	2.28-2.44	2.4-4.8	77-98		0.31-1.31	
		SW(2)	2.46-2.43	1.6-2.1	155, 169		0.14, 0.59	
Kangaroo Creek	Schist Zone 3			3	25			
	Gneiss Zone 1			1.5	78			
Boondooma	Rhyolite	FR-SW	2.23-2.61	3.0-6.3	103-158	50-113	0.42-0.99	

ข้อมูลการบดอัดเขื่อน

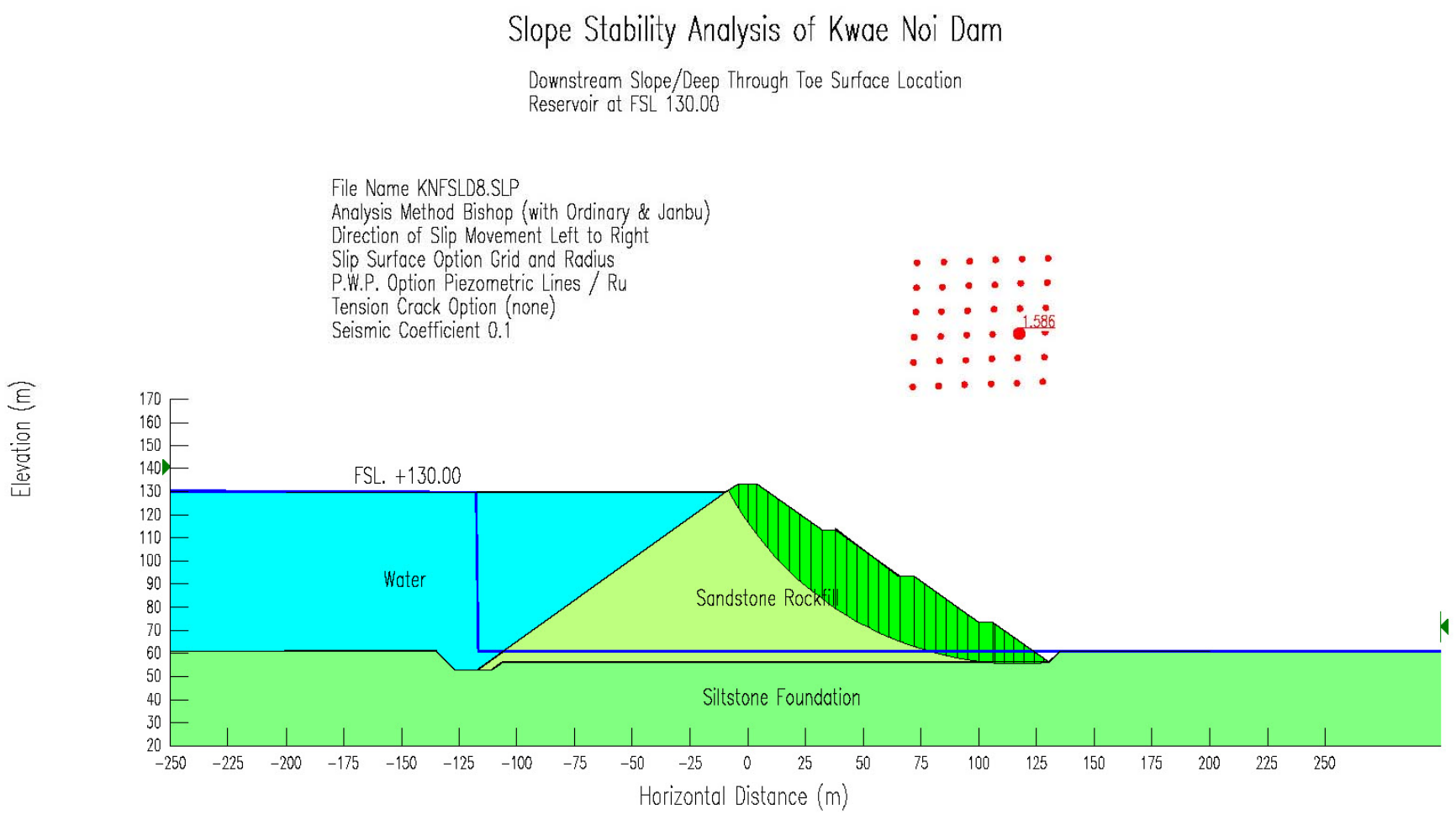
Table 14.1. Specification of compaction of rockfill and resulting properties – Concrete face rockfill dams.

Authority dam	Rock type and weathering	Zone	Layer thickness/ Max. size (m)	Compaction			Rockfill drainage capability	Rockfill modulus	Reference
				Roller	Passes	Water applied			
PWD of NSW									
Mangrove Creek	Sandstone & siltstone, FR	2E transition	0.45/0.45 incr. to 0.6 m	10 TVR	4	15% by vol	Semi-impervious 10^{-4} to 10^{-9} m/sec		McKenzie & McDonald, 1981
	Sandstone & siltstone, FR	2D transition	0.3/0.15	10 TVR	4	15% by vol	Mean 10^{-5} m/sec		
	Siltstone & sandstone, FR	3A 'free draining'	0.6/0.6	10 TVR	4?	15% by vol	'Free draining'		
	Sandstone & siltstone FR & W	3A	0.45/0.45	10 TVR	4?	OWC – 3% to OWC – 1% approx.	Random zone, not free draining	120 MPa	
MMBW									
Winneke	Sandstone, SW	3A	0.9/0.7	10 TVR	4	15% by vol	'Free draining'	50 ± 15 MPa	MMBW, 1981
	Siltstone, FR & claystone MW-HW	3B random	0.5/0.4	10 TVR	6	8% to 11%	Random fill, not free draining		
WRC of NSW									
Glennies Creek	Welded SW-MW	3A	1.0/1.0	10 TVR	4	20% by vol	Free draining	–	Vesk, 1981
	Tuff SW-FR	3A free draining	1.0/1.0	10 TVR	4	20% by vol	Drainage layer		
	SW-MW	3B	2.0/2.0	10 TVR	6	20% by vol	Free draining		
Brogo	Granodiorite	3A	1.0/1.0	8.6 TVR	4	Not reqd.	Free draining		Vesk, 1981
		3B	2.0/2.0	8.6 TVR	6	Not reqd.	Free draining		
Pindari	Porphry	3A	0.9/0.9	8.6 TVR	4	Not reqd.	Free draining		Vesk, 1981
	Rhyolitic tuffs & lavas	3B	1.8/1.8	8.6 TVR	6	Not reqd.	Free draining		
E & WS of SA									
Kangaroo Creek	Schist	3A	0.9/0.9 to 1.8	10 TVR	4	100% by vol	Semi impervious upper part each layer		Good, 1981
Kangaroo Creek	Gneiss, FR-MW	3A free draining	1.22/1.22	10 TVR	4	100% by vol	Free draining		
HEC, Tasmania									
Mackintosh	Greywacke & slate	3A	1.0/1.0	10 TVR	4-8	10% by vol	Free draining	40/95 MPa rock load	Fitzpatrick et al. 1985
		3B	1.5/1.5	10 TVR	4-8	10% by vol	Free draining	Water load	
Cethana	Quartzite	3A	0.9/6	10 TVR	4-8	15% by vol	Free draining	145/310 MPa	
		3B	1.35/0.9	10 TVR	4-8	20% by vol	Free draining	225/650 MPa	

Shear Strength ของหินถม



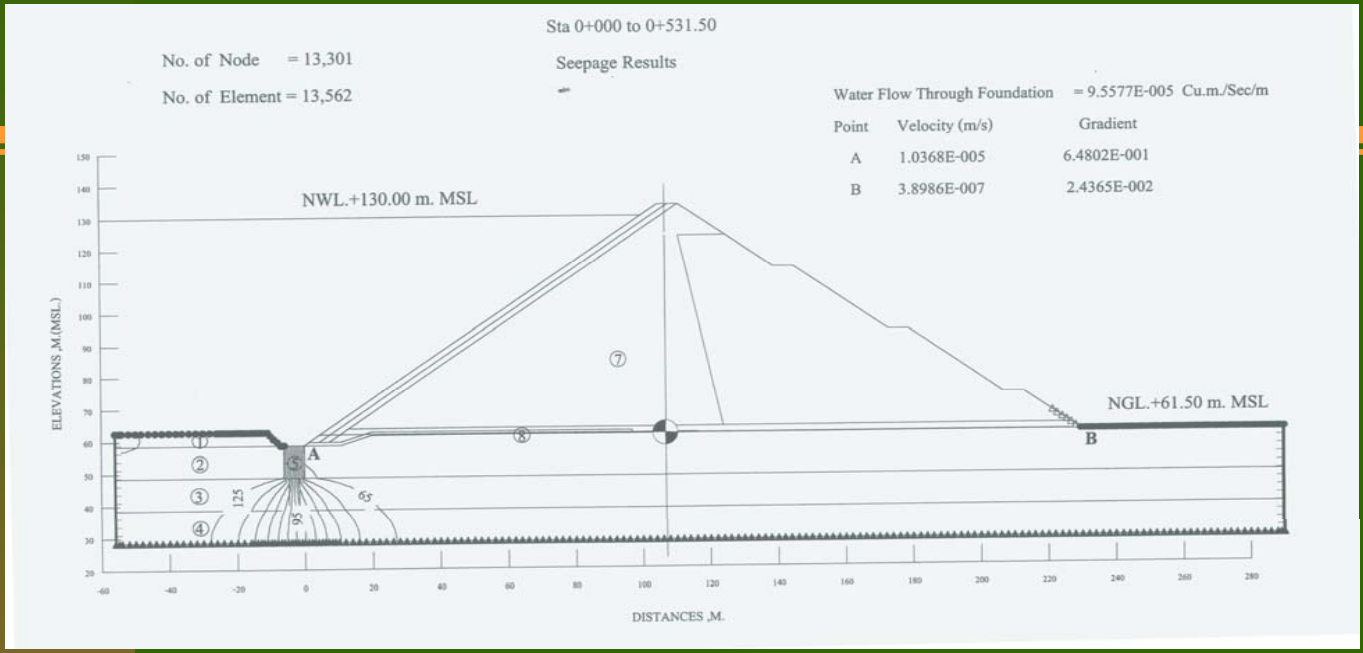
การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนแควน้อย



ผลการวิเคราะห์

Slope	Load case	Surface Type	Surface Location	Factor of Safety	Minimum Acceptable Factor of Safety
Upstream Slope	Static	Circular	Shallow Through Toe	10.24	1.5
			Deep Through Toe	6.52	
			Shallow Through Midheight	8.27	
			Deep Through Midheight	7.53	
			Through Foundation EL 50.00	9.36	
			Through Foundation EL 45.00	10.95	
	Pseudo-Static k_e=0.1	Circular	Shallow Through Toe	7.88	1.0
			Deep Through Toe	4.82	
			Shallow Through Midheight	6.29	
			Deep Through Midheight	5.10	
			Through Foundation EL 50.00	6.31	
			Through Foundation EL 45.00	6.90	
Downstream Slope	Static	Circular	Shallow Through Toe	2.12	1.5
			Deep Through Toe	1.93	
			Shallow Through Midheight	2.66	
			Deep Through Midheight	2.56	
			Through Foundation EL 50.00	2.64	
			Through Foundation EL 45.00	3.45	
	Pseudo-Static k_e=0.1	Circular	Shallow Through Toe	1.74	1.0
			Deep Through Toe	1.59	
			Shallow Through Midheight	2.15	
			Deep Through Midheight	1.81	
			Through Foundation EL 50.00	2.03	
			Through Foundation EL 45.00	2.46	

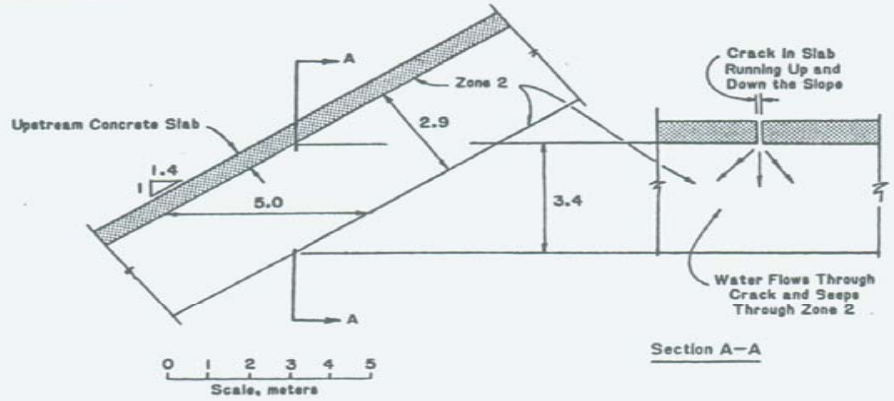
การวิเคราะห์การไหลซึม



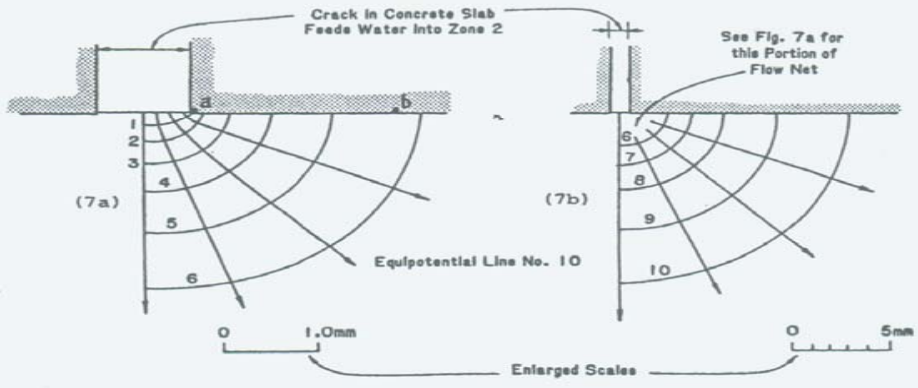
Grouting

Grouting and Shotcrete

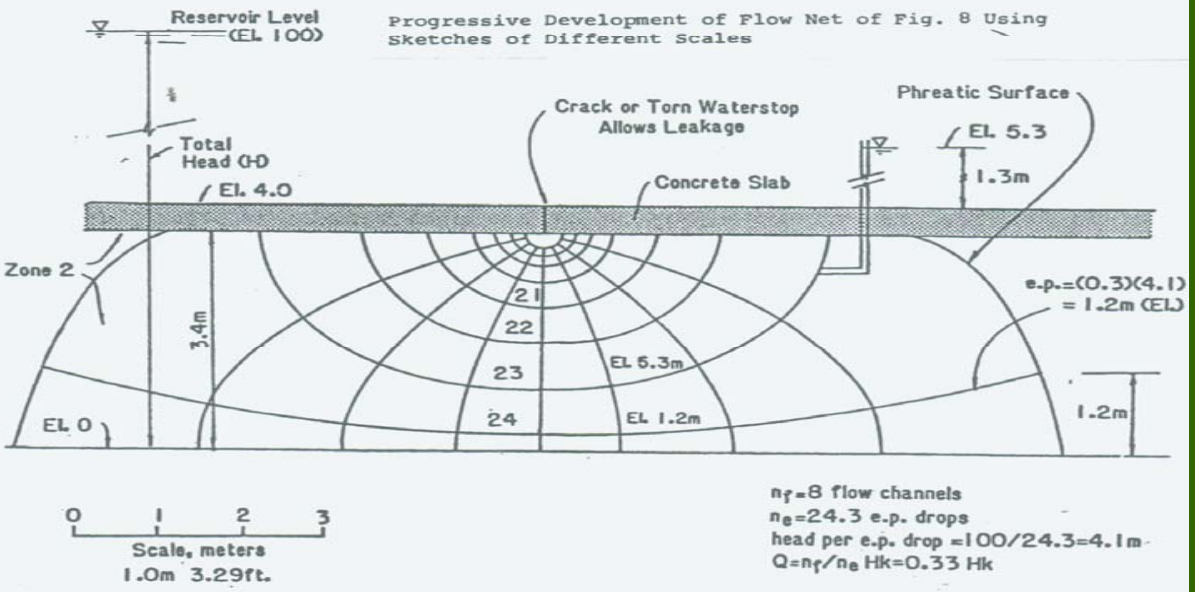
การไหลซึมผ่านคอนกรีตดาด



Leakage through Crack in Concrete Slab Seeps Down through Zone 2



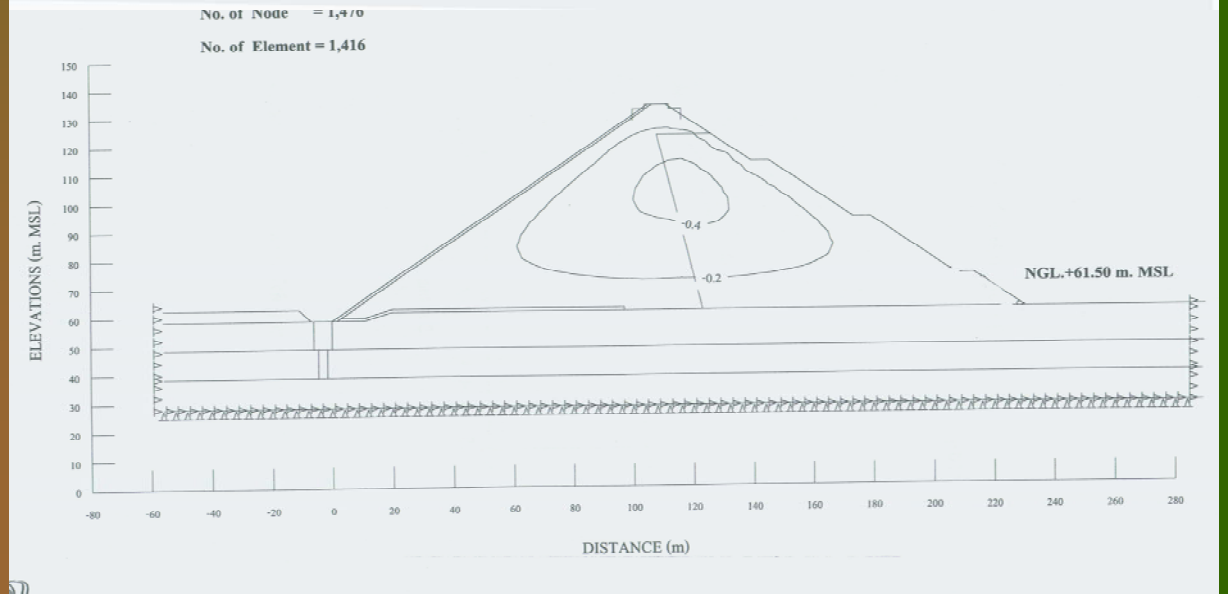
Progressive Development of Flow Net of Fig. 8 Using Sketches of Different Scales



Seepage Flow Net for Zone 2, Drawn for a 1.0mm Crack in Concrete Slab

การวิเคราะห์หน่วยแรงและการเคลื่อนตัว

หน่วยแรง

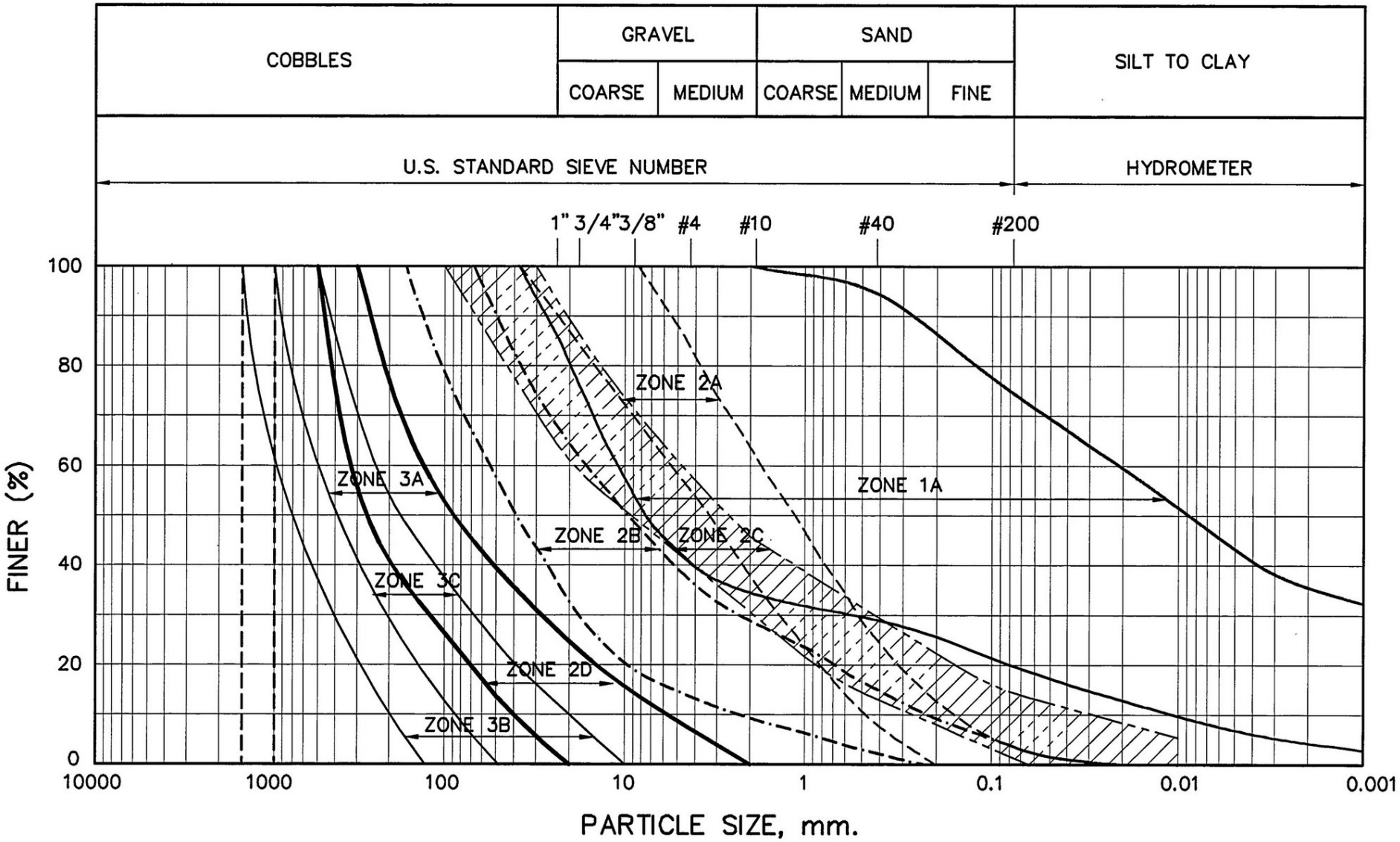


การทรุดตัว

ข้อกำหนดวัสดุและการบดอัดเขื่อนแควน้อย

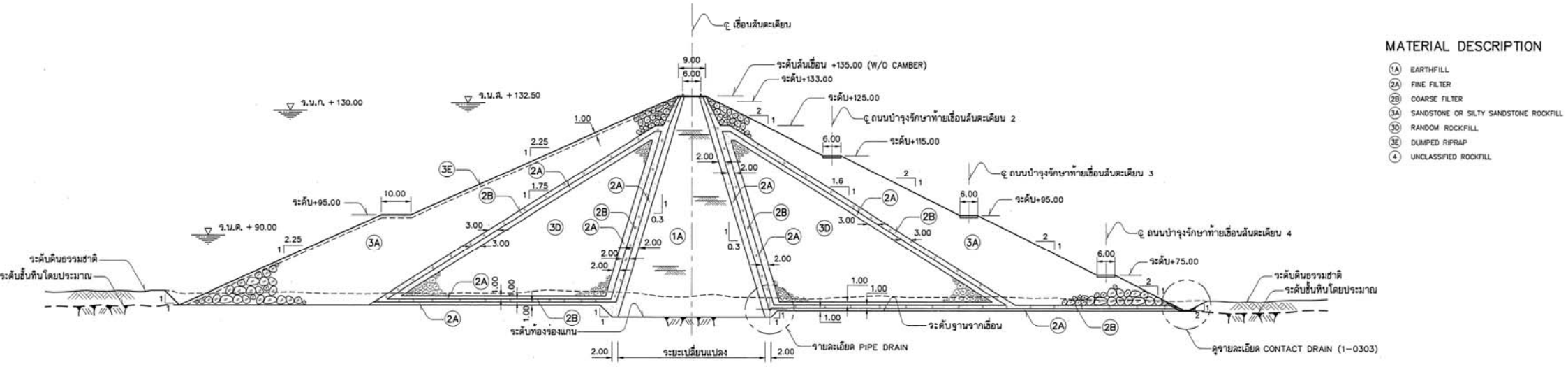
ZONE	DESCRIPTION	SPECIFICATION	COMPACTION REQUIREMENTS	
			LAYER AFTER COMPACTION THICKNESS–MM.	METHOD/DENSITY
1A	EARTHFILL	IMPERVIOUS MATERIAL SUCH AS CL, SC, GC USUALLY MORE THAN 15% PASSING 0.075 mm	150	98% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST (MIN.) MOISTURE CONTENT – 1% TO + 2% OF STANDARD OPTIMUM
2A	FINE FILTER	MATERIALS MUST ALSO SATISFY ASTM C33 – STANDARD	250 IN HORIZONTAL FILTER 500 IN CHIMNEY FILTER	MINIMUM 4 PASSES 5 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER 80% RELATIVE DENSITY REQUIRED
2B	COARSE FILTER	SPECIFICATION FOR CONCRETE AGGREGATES	SAME AS ZONE 2A	SAME AS ZONE 2A
2C	FINE CUSHION LAYER	WELL GRADED FROM 300 mm TO 0.075 mm HARD, STRONG, DURABLE	500	8 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER * ALSO ROLLED UP AND DOWN FACE
2D	COARSE CUSHION LAYER	WELL GRADED FROM 500 mm TO 0.075 mm HARD, STRONG, DURABLE	500	8 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER *
3A	ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (1,000 mm) STRONG, DURABLE	1,000	8 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER *
3B	COARSE ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (1,500 mm) STRONG, DURABLE	1,500	SAME AS ZONE 3A *
3C	DRAINAGE ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (1,000 mm) HARD, STRONG, DURABLE COMPLETELY FREE DRAINING	1,000	SAME AS ZONE 3A *
4	UNCLASSIFIED ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (2,000 mm)	2,000	SAME AS ZONE 3A *

ขนาดคละของวัสดุเขื่อนแควน้อย



(GRADATION OF CONSTRUCTION MATERIALS)

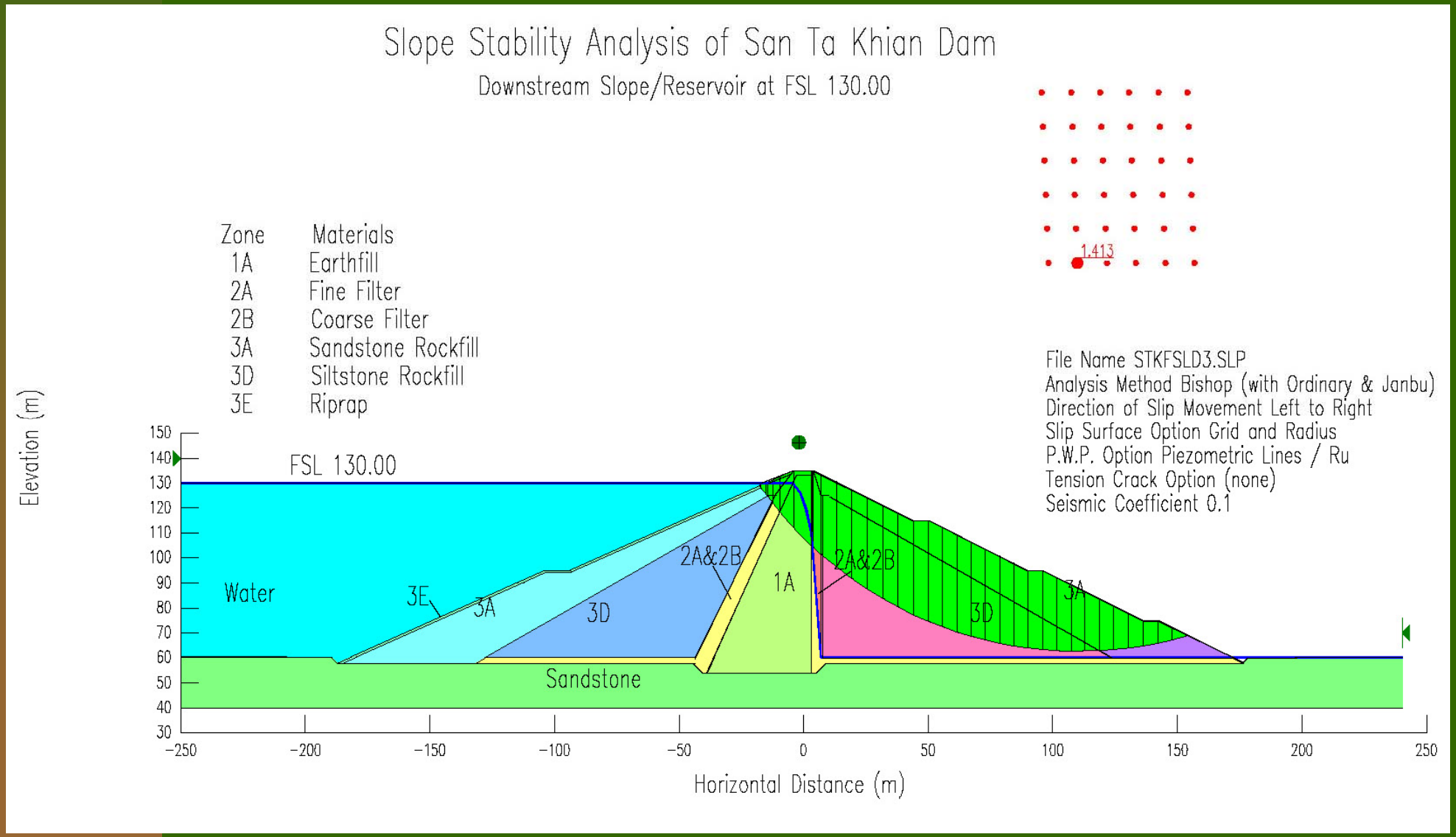
เขื่อนสันตะเคียน



รูปตัดตามขวางตัวเขื่อนสันตะเคียน

ชนิดของเขื่อนสันตะเคียน	Earth Core Rockfill Dam
ระดับสันเขื่อน	+135.00 ม.รทก.
ความยาวสันเขื่อน	1,270 เมตร
ความสูงเขื่อน	80 เมตร

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนสันตะเคียน



ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ

กรณี	สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์		การกำหนดค่ากำลังรับแรงเฉือน	การกำหนดค่าความดันน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ของคลื่นสั่นสะเทือน	ลาดเขื่อนที่วิเคราะห์	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่ยอมให้
	สภาพเขื่อน	ระดับน้ำในอ่าง						
1.	เมื่อสร้างเขื่อนเสร็จใหม่ยังไม่เก็บกักน้ำ	-	Total Strength	-	0.00	เหนือน้ำ	1.44	1.25
2.						ท้ายน้ำ	1.30	1.25
3.			Effective Strength	Pore Pressure Ratio (Ru)		เหนือน้ำ	1.57	1.25
4.						ท้ายน้ำ	1.35	1.25
5.	ระหว่างเก็บกักน้ำ	ระดับน้ำเก็บกัก	Effective Strength	Phreatic Line	0.00	เหนือน้ำ	1.97	1.50
					0.10		1.29	1.25
6.					0.00	ท้ายน้ำ	1.62	1.50
					0.10		1.25	1.25
7.	น้ำในอ่างลดระดับลงอย่างรวดเร็ว	ลดจากระดับน้ำเก็บกักมาที่ระดับน้ำต่ำสุด	Effecttive Strength	Phreatic Line	0.00	เหนือน้ำ	1.38	1.25
					0.10		1.04	1.00

การวิเคราะห์การไหลซึม

Sta. 0+000 to 1+270

Seepage Results

Cut off Trench with Grouting 5Lu

Horizontal Filter Thickness 3 m.

Symmetry Core Zone (1: 0.3)

No. of Node = 23,640

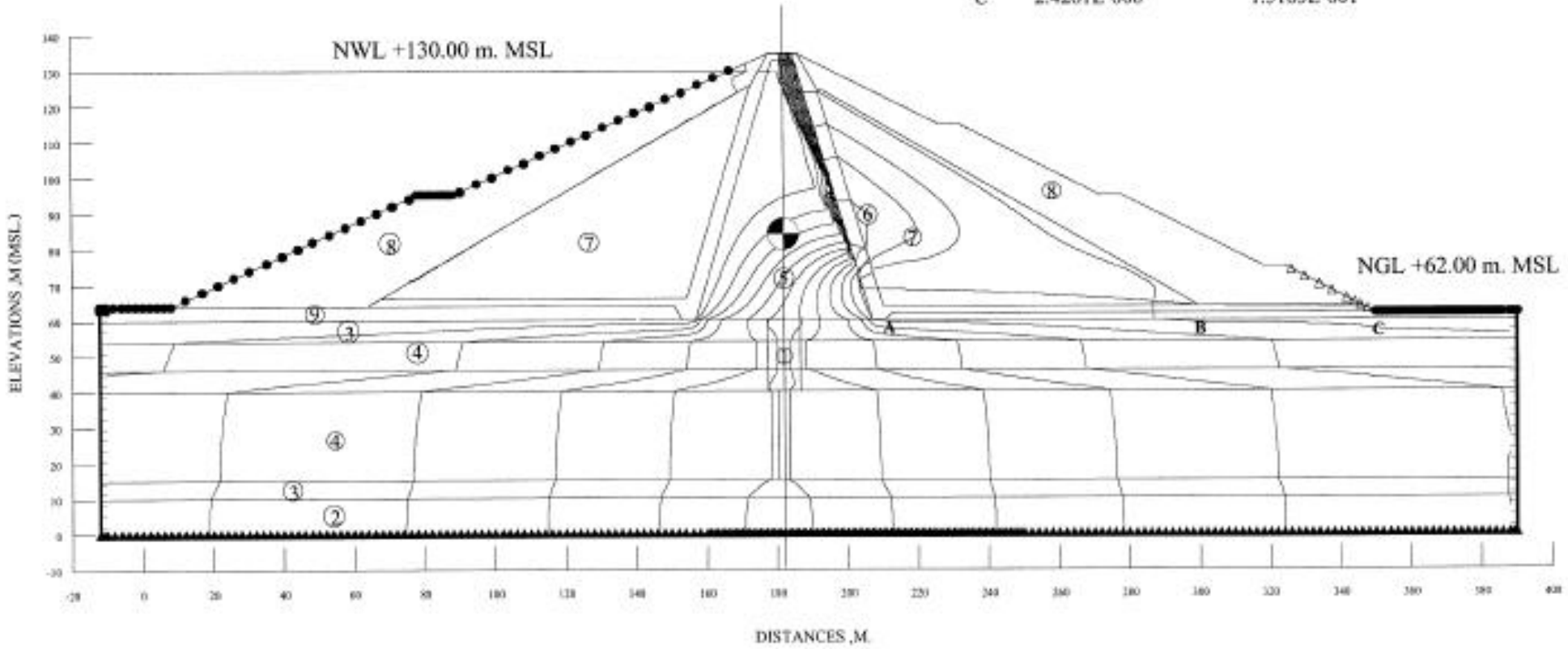
No. of Element = 24,733

Water Flow Through Foundation and Dam = 3.4643E-005 Cu.m./Sec/m

Water Flow Through Foundation = 3.4370E-005 Cu.m./Sec/m

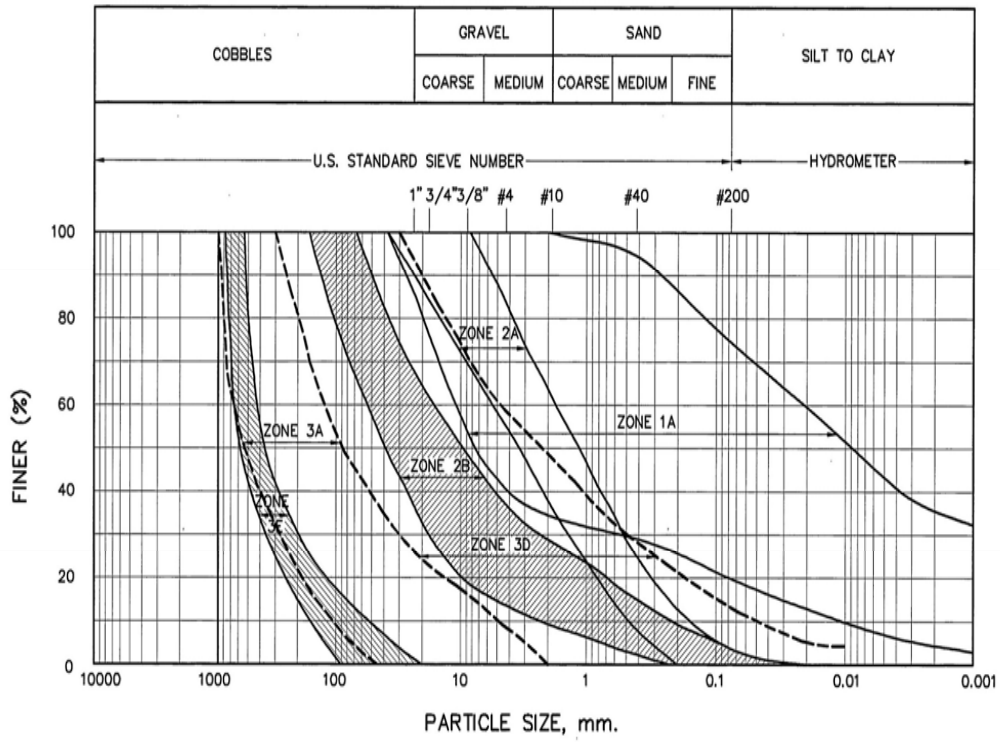
Water Flow Through Hor. Filter = 4.2057E-006 Cu.m./Sec/m

Point	Velocity (m/s)	Gradient
A	5.1554E-007	5.155
B	1.3223E-006	2.539E-002
C	2.4261E-006	1.5163E-001



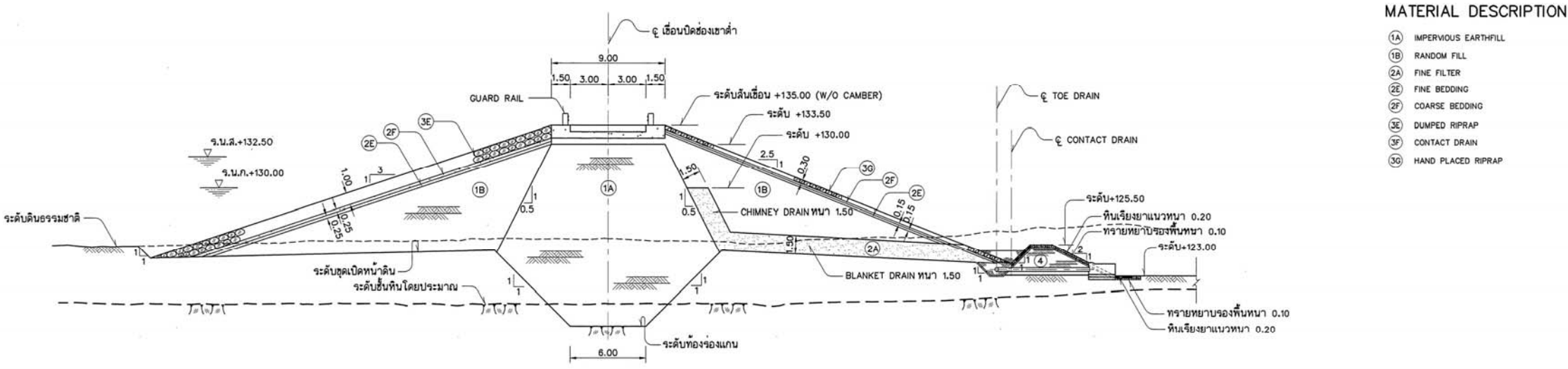
ข้อกำหนดวัสดุเขื่อนสันตะเคียน

ZONE	DESCRIPTION	SPECIFICATION	COMPACTION REQUIREMENTS	
			LAYER AFTER COMPACTION THICKNESS-MM.	METHOD/DENSITY
1A	EARTHFILL	IMPERVIOUS MATERIAL SUCH AS CL, SC, GC USUALLY MORE THAN 15% PASSING 0.075 mm	150	98% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST (MIN.) MOISTURE CONTENT - 1% TO + 2% OF STANDARD OPTIMUM
2A	FINE FILTER	MATERIALS MUST ALSO SATISFY ASTM C33-STANDARD	250 IN HORIZONTAL FILTER 500 IN CHIMNEY FILTER	MINIMUM 4 PASSES 5 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER 80% RELATIVE DENSITY REQUIRED
2B	COARSE FILTER	SPECIFICATION FOR CONCRETE AGGREGATES	SAME AS ZONE 2A	SAME AS ZONE 2A
3A	ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (1,000 mm) STRONG, DURABLE	1,000	8 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER *
3D	RANDOM FILL	WEATHERED OR LOW-GRADE ROCK	300	4 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER *
3E	DUMPED RIPRAP	SELECTED DENSE DURABLE LARGER ROCKS FROM ROCK QUARRY STRONG, DURABLE (SIZED TO PREVENT EROSION BY WAVE ACTION)	1,000	PLACED WITH BULLDOZER AND ARRANGED BY HAND OR BACKHOE
4	UNCLASSIFIED ROCKFILL	MAXIMUM SIZE TO ALLOW COMPACTION (2,000 mm)	2,000	8 PASSES 10 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER *



(GRADATION OF CONSTRUCTION MATERIALS)

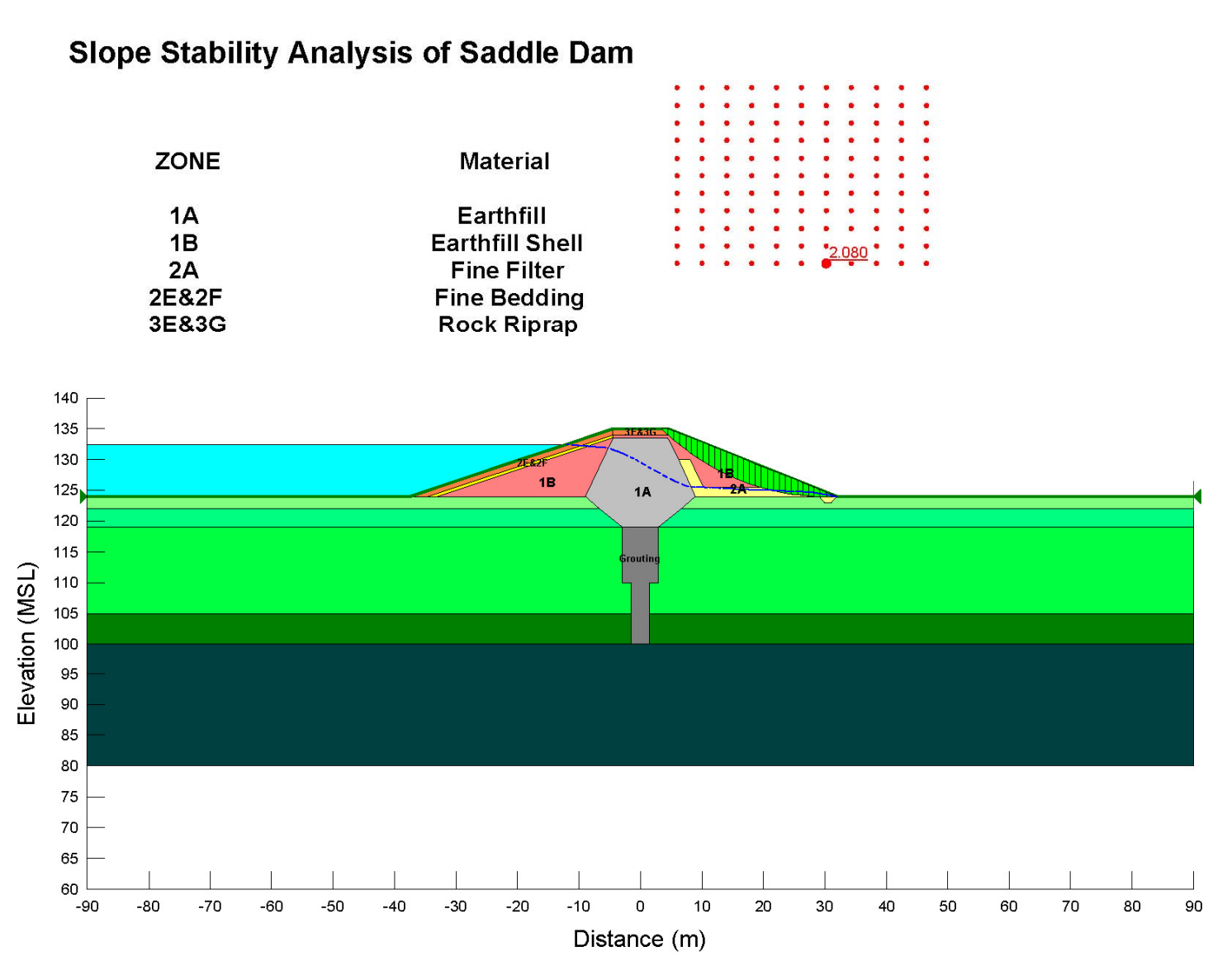
เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ



รูปตัดตามขวางตัวเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ

ชนิดของเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ	Earthfill Dam	
ระดับสันเขื่อน	135.00	ม.รทก.
ความยาวสันเขื่อน	667	เมตร
ความสูงเขื่อน	16	เมตร

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ



ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ

กรณี	สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์		การกำหนดค่ากำลังรับแรงเฉือน	การกำหนดค่าความดันน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ของคลื่นสั่นสะเทือน	ลาดเขื่อนที่วิเคราะห์	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่ยอมให้
	สภาพเขื่อน	ระดับน้ำในอ่าง						
1.	เมื่อสร้างเขื่อนเสร็จใหม่ยังไม่เก็บกักน้ำ	-	Total Strength	-	0.00	เหนือน้ำ	2.05	1.25
2.						ท้ายน้ำ	1.84	1.25
3.			Effective Strength	Pore Pressure Ratio (Ru)		เหนือน้ำ	1.75	1.25
4.						ท้ายน้ำ	1.59	1.25
5.	ระหว่างเก็บกักน้ำ	ระดับน้ำเก็บกัก	Effective Strength	Phreatic Line	0.00	เหนือน้ำ	2.11	1.50
					0.10		1.42	1.25
6.					0.00	ท้ายน้ำ	1.84	1.50
					0.10		1.38	1.25
7.	น้ำในอ่างลดระดับลงอย่างรวดเร็ว	ลดจากระดับน้ำเก็บกักมาที่ระดับน้ำต่ำสุด	Effecttive Strength	Phreatic Line	0.00	เหนือน้ำ	1.37	1.25
					0.10		1.011	1.00

การวิเคราะห์การไหลซึม

Sta. 0+027 to 0+665

Seepage Results

Cut off Trench with Grouting 5Lu

No. of Node = 3,944

No. of Element = 4,4205

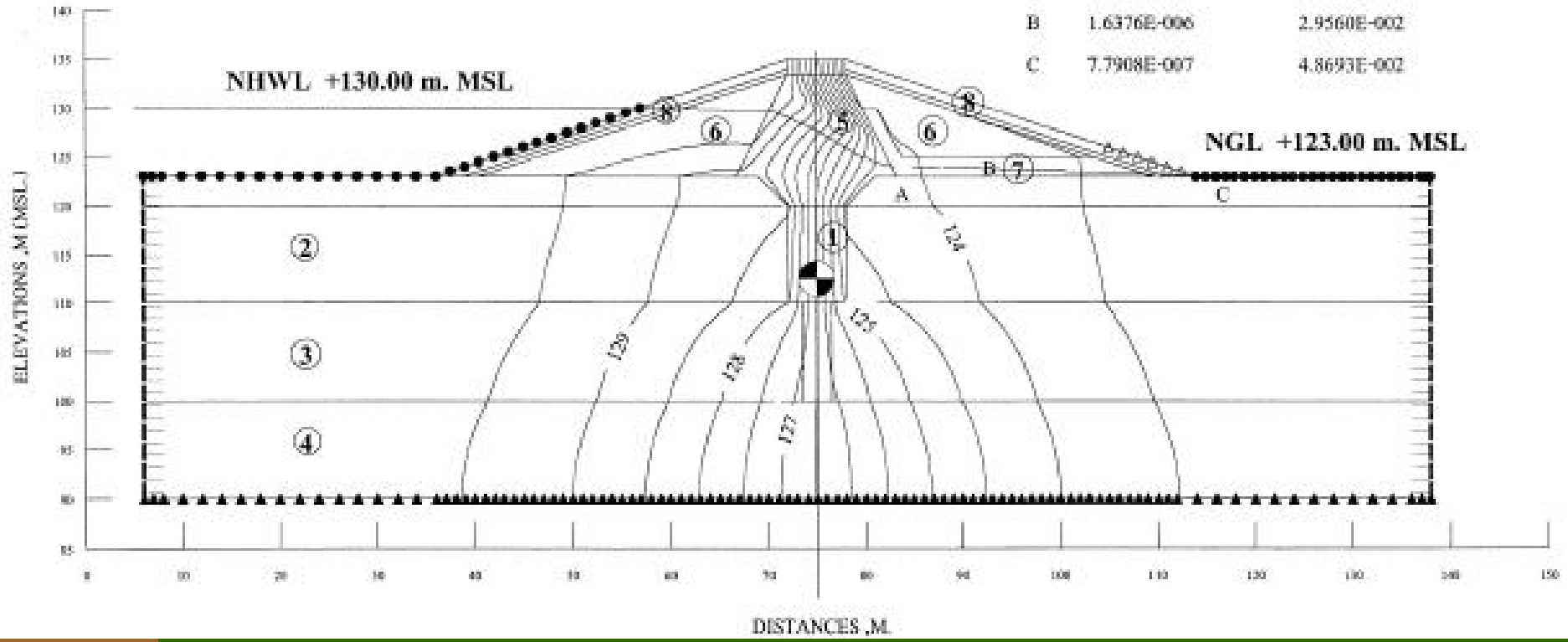
Water Flow Through Foundation and Dam = 5.9322E-006 Cu.m./Sec/m

Water Flow Through Foundation = 5.8871E-006 Cu.m./Sec/m

Water Flow Through Hor. Filter = 1.8447E-006 Cu.m./Sec/m

Water Flow Through Incli. Filter = 3.3814E-008 Cu.m./Sec/m

Point	Velocity (m/s)	Gradient
A	6.5328E-007	4.0827E-002
B	1.6376E-006	2.9560E-002
C	7.7908E-007	4.8693E-002



ข้อกำหนดวัสดุเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ

ZONE	DESCRIPTION	SPECIFICATION	COMPACTION REQUIREMENTS	
			LAYER AFTER COMPACTION THICKNESS-mm	METHOD/DENSITY
1A	EARTHFILL	IMPERVIOUS MATERIAL SUCH AS CL, SC, GC USUALLY MORE THAN 15% PASSING 0.075 mm	150	98% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST (MIN.) MOISTURE CONTENT = 1% TO + 2% OF STANDARD OPTIMUM
1B	RANDOM EARTHFILL	SEMI-IMPERVIOUS TO PERVIOUS MATERIAL SUCH AS SM, GM, GW, GP, SW, SP	300	95% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST (MIN.) MOISTURE CONTENT - 1% TO + 2% OF STANDARD OPTIMUM
2A	FINE FILTER	MATERIALS MUST ALSO SATISFY ASTM C33 - STANDARD	250 IN HORIZONTAL FILTER 500 IN CHIMNEY FILTER	MINIMUM 4 PASSES 5 TONNE VIBRATING STEEL DRUM ROLLER 80% RELATIVE DENSITY REQUIRED
2E	FINE BEDDING	PREVENT EROSION OF ZONE 1B INTO ZONE 2F, RELAXED DURABILITY COMPARED TO ZONE 2A	SPECIFIED	PLACED WITH BULLDOZER , 70-75% RELATIVE DENSITY REQUIRED
2F	COARSE BEDDING	PREVENT EROSION OF ZONE 2E INTO RIPRAP, RELAXED DURABILITY COMPARED TO ZONE 2B	SPECIFIED	SAME AS ZONE 2E
3E	DUMPED RIPRAP	SELECTED DENSE DURABLE LARGER ROCKS FROM ROCK QUARRY. STRONG, DURABLE (SIZED TO PREVENT SLOPE EROSION BY WAVE ACTION)	1,000	PLACED WITH BULLDOZER AND ARRANGED BY BACKHOE
3F	CONTACT DRAIN	SELECTED SMALLER ROCKS FROM ROCK QUARRY. STRONG, DURABLE (SIZED TO PREVENT TOE EROSION BY RAINFALL)	500	PLACED WITH BULLDOZER AND ARRANGED BY HAND OR BACKHOE
3G	HAND PLACED RIPRAP	SELECTED DENSE DURABLE SMALLER ROCKS FROM ROCK QUARRY. STRONG, DURABLE (SIZED TO PREVENT SLOPE EROSION BY RAINFALL)	300	PLACED WITH BULLDOZER AND ARRANGED BY HAND

อุปกรณ์วัดพฤติกรรมเขื่อนที่ติดตั้งในโครงการฯ

ประเภท	การใช้งาน
1.) Surface Settlement Point , Reference Benchmark , Crest Settlement	วัดค่าการทรุดตัว
2.) Inclinometer, Inclinometer with Spider Magnet	ค่าการเคลื่อนตัวทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง

อุปกรณ์วัดพฤติกรรมเขื่อนที่ติดตั้งในโครงการฯ

ประเภท	การใช้งาน
3.) Borehole Standpipe Piezometer , Vibrating Wire Piezometer	ค่าแรงดันน้ำ
4.) Hydrostatic Settelement Gauge	ค่าการทรุดตัว หรือการยกตัวภายในตัวเขื่อน
5.) V - Notch Weir	ปริมาตรการไหลของน้ำผ่านอาคารวัดน้ำ

อุปกรณ์วัดพฤติกรรมเขื่อนที่ติดตั้งในโครงการฯ

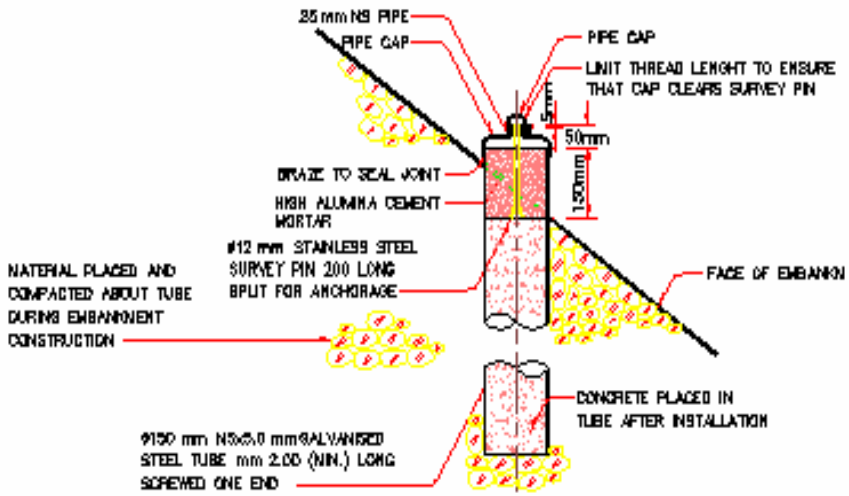
ประเภท	การใช้งาน
6.) Perimetric Joint Meter , Joint Meter	ระยะของรอยแยก รอยแตก บริเวณโครงสร้างที่ทำการตรวจวัด
7.) Strain Meter, Non-Stress Strain Meter	ลักษณะการเปลี่ยนรูป บริเวณโครงสร้างที่ทำการตรวจวัด

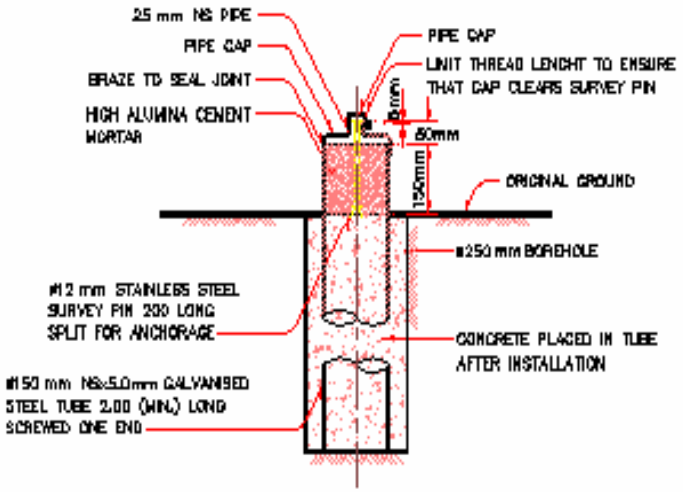
Reference Benchmark

Survey Station

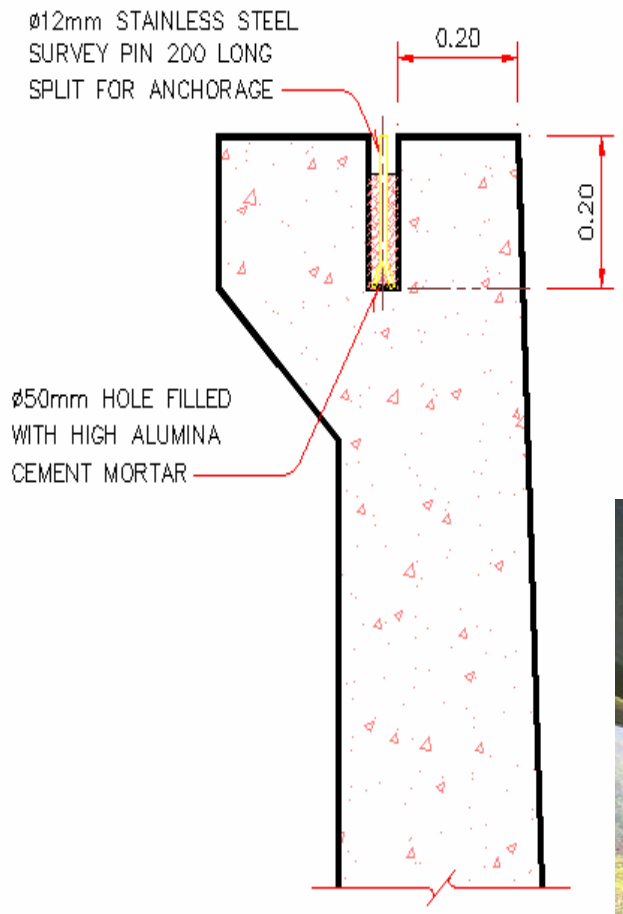
Permanent Benchmark

รายละเอียดการติดตั้ง SURFACE SETTLEMENT POINTS (SS)

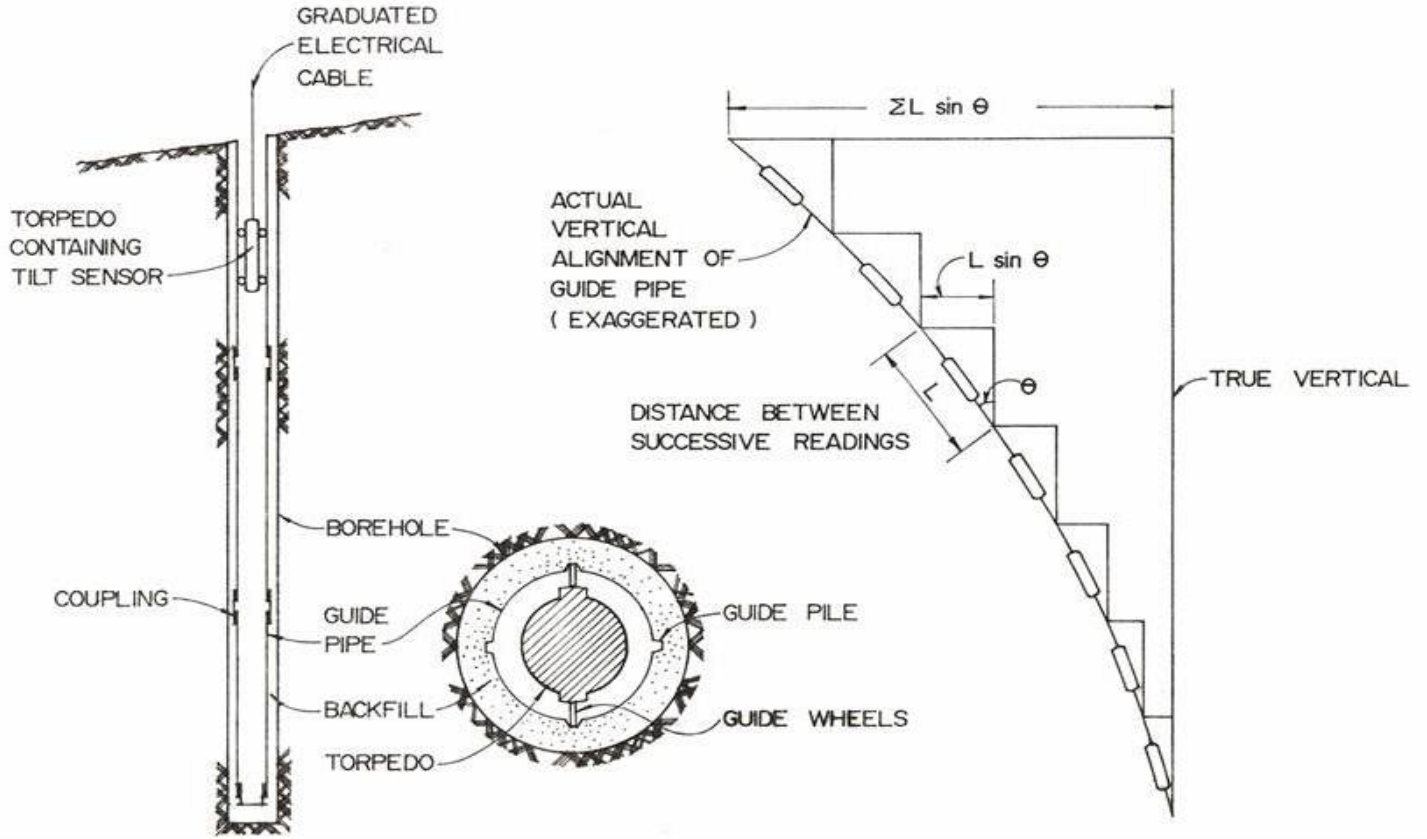


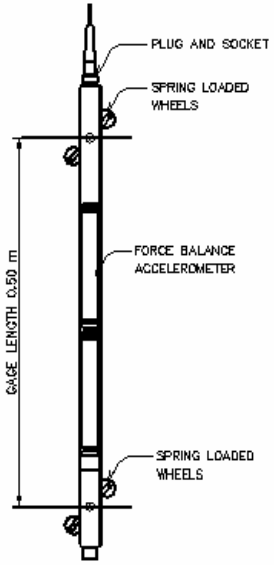


รายละเอียดการติดตั้ง CREST SETTLEMENTS (CS) บนสัน WAVE WALL

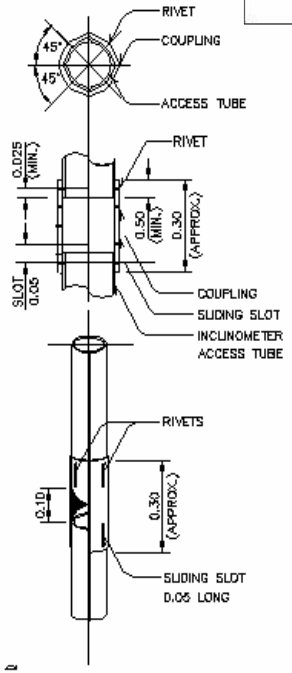


Inclinometer

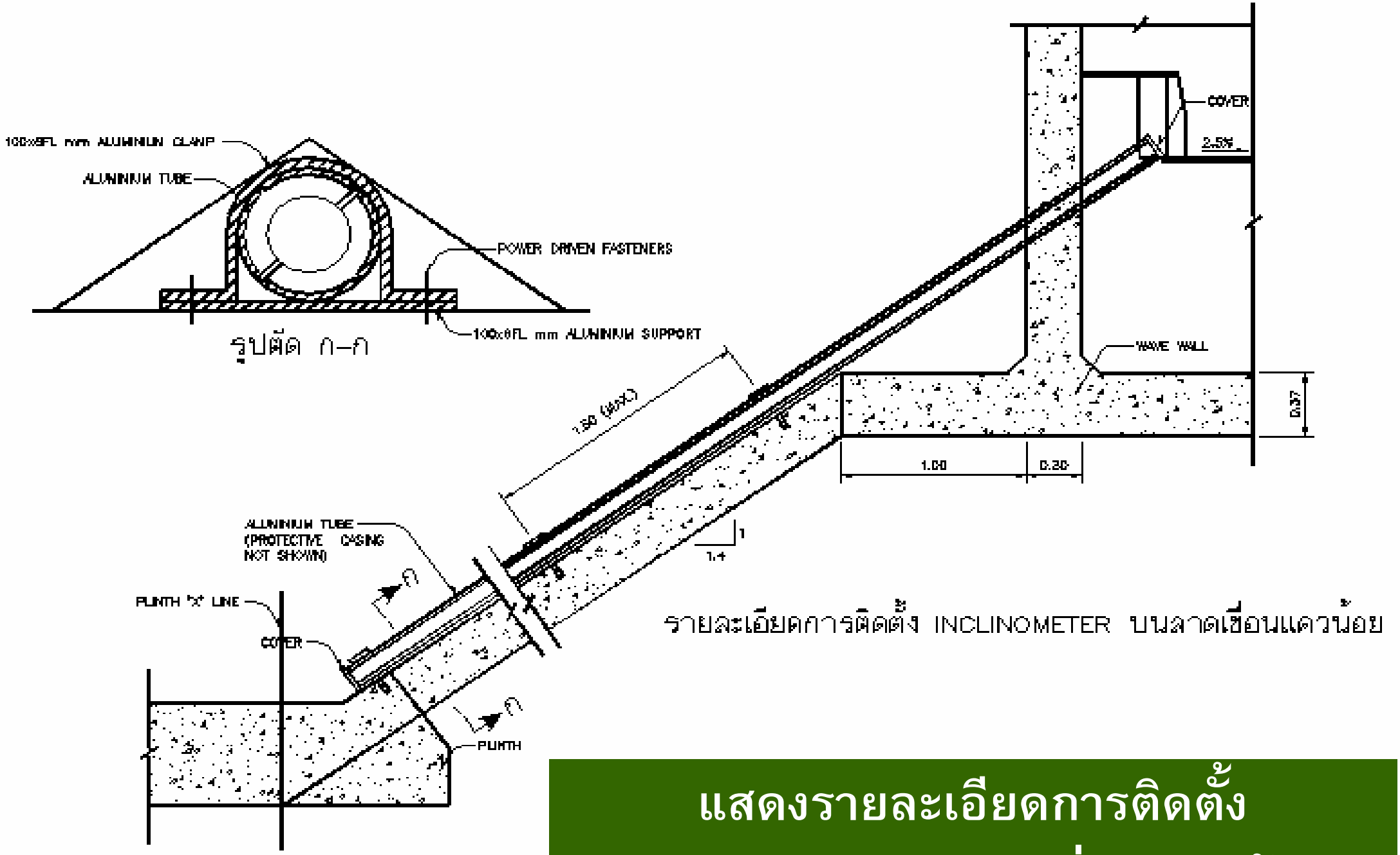




เอียด INCLINOMETER PROBE



รายละเอียด RIVET CONNECTION

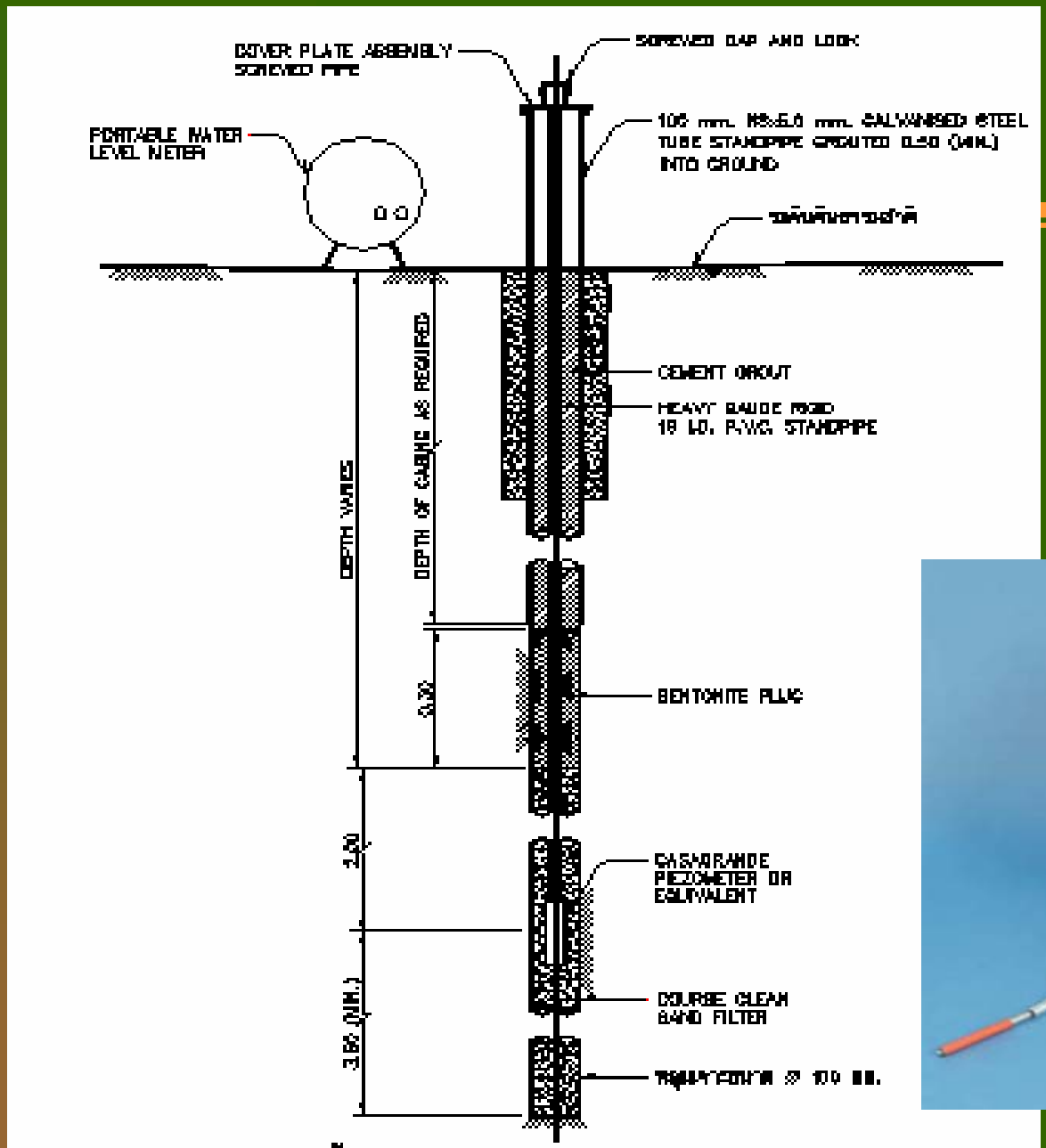


แสดงรายละเอียดการติดตั้ง Inclinometer บนลาดเขื่อนแควน้อย

Borehole

Standpipe

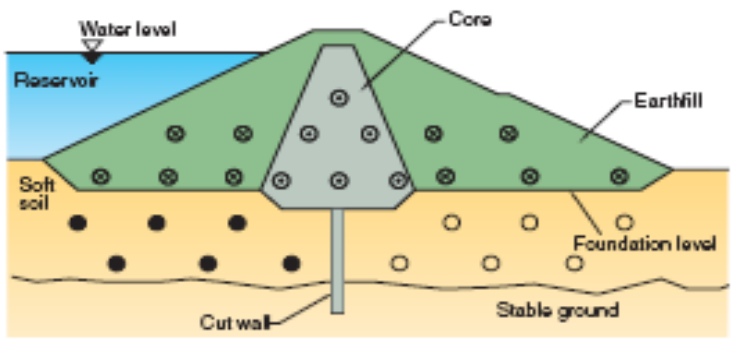
Piezometer



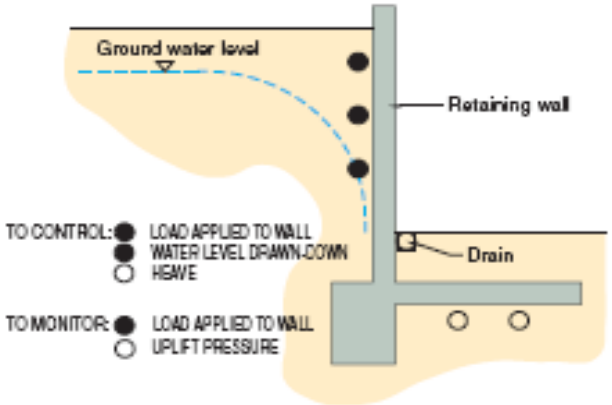
จายละเอียดการติดตั้ง BOREHOLE STANDPIPE PIEZOMETER

Pizometer

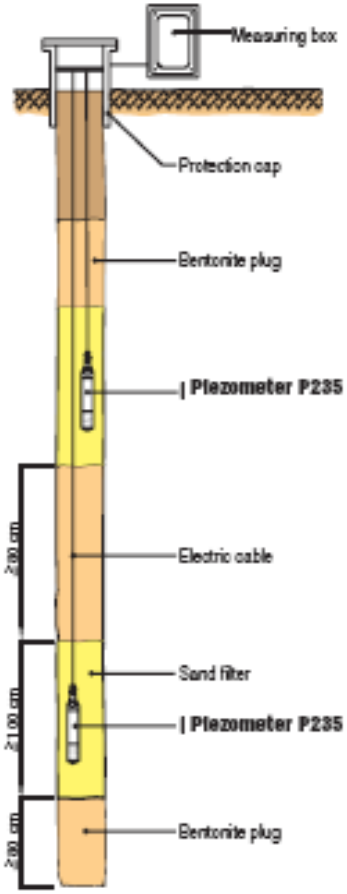
EARTH FILL DAMS



RETAINING WALLS



BOREHOLE



Piezometer is inserted at set depth into a borehole.

A 1 m thick sand filter is installed around piezometer. Water from the surrounding soil passes through the filter loading the sensor.

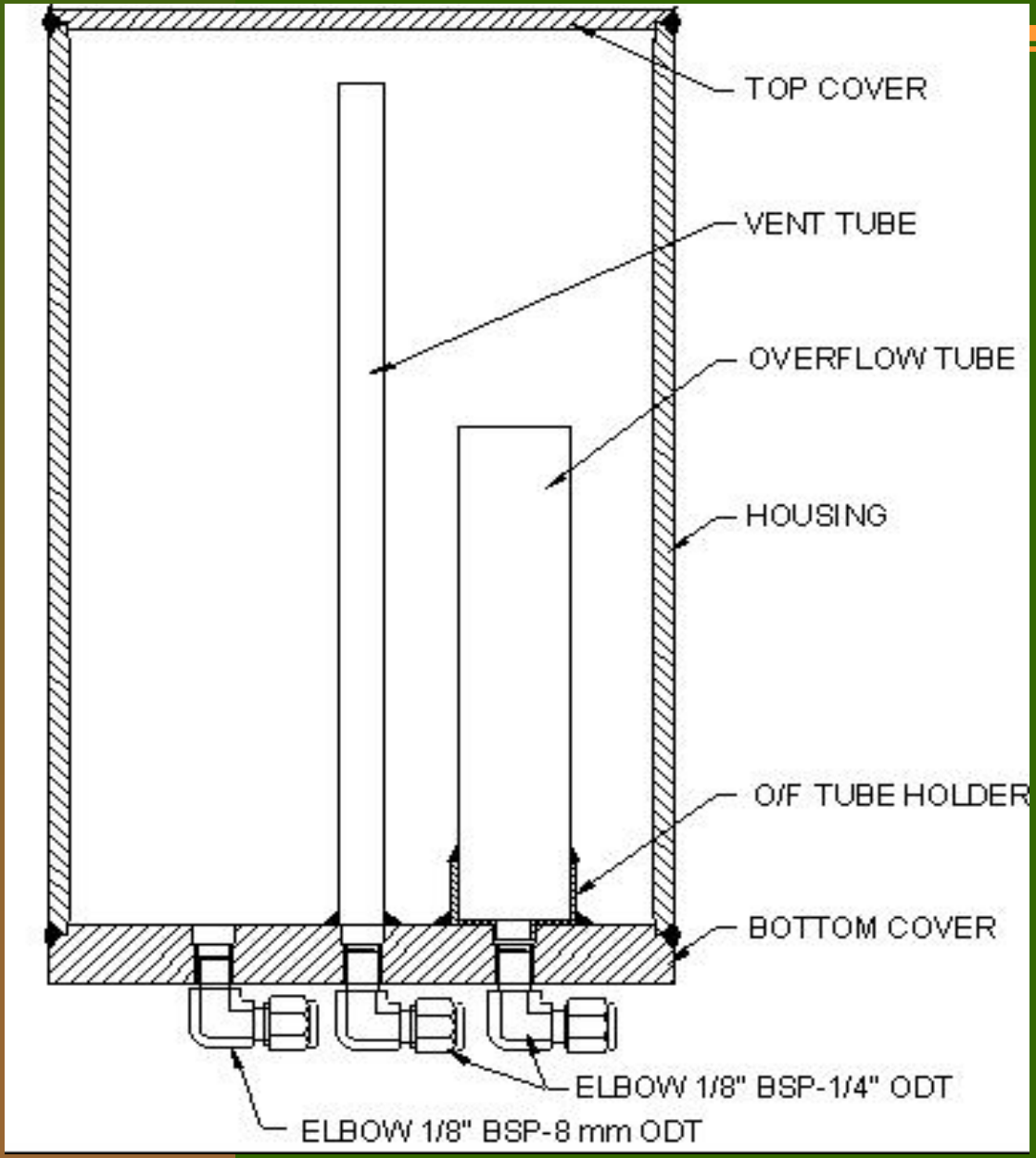
Two bentonite plugs are installed above and beneath the filter section.

Additional piezometer should be installed in the same borehole.

Output signal is transmitted by electric cable to the readout unit.

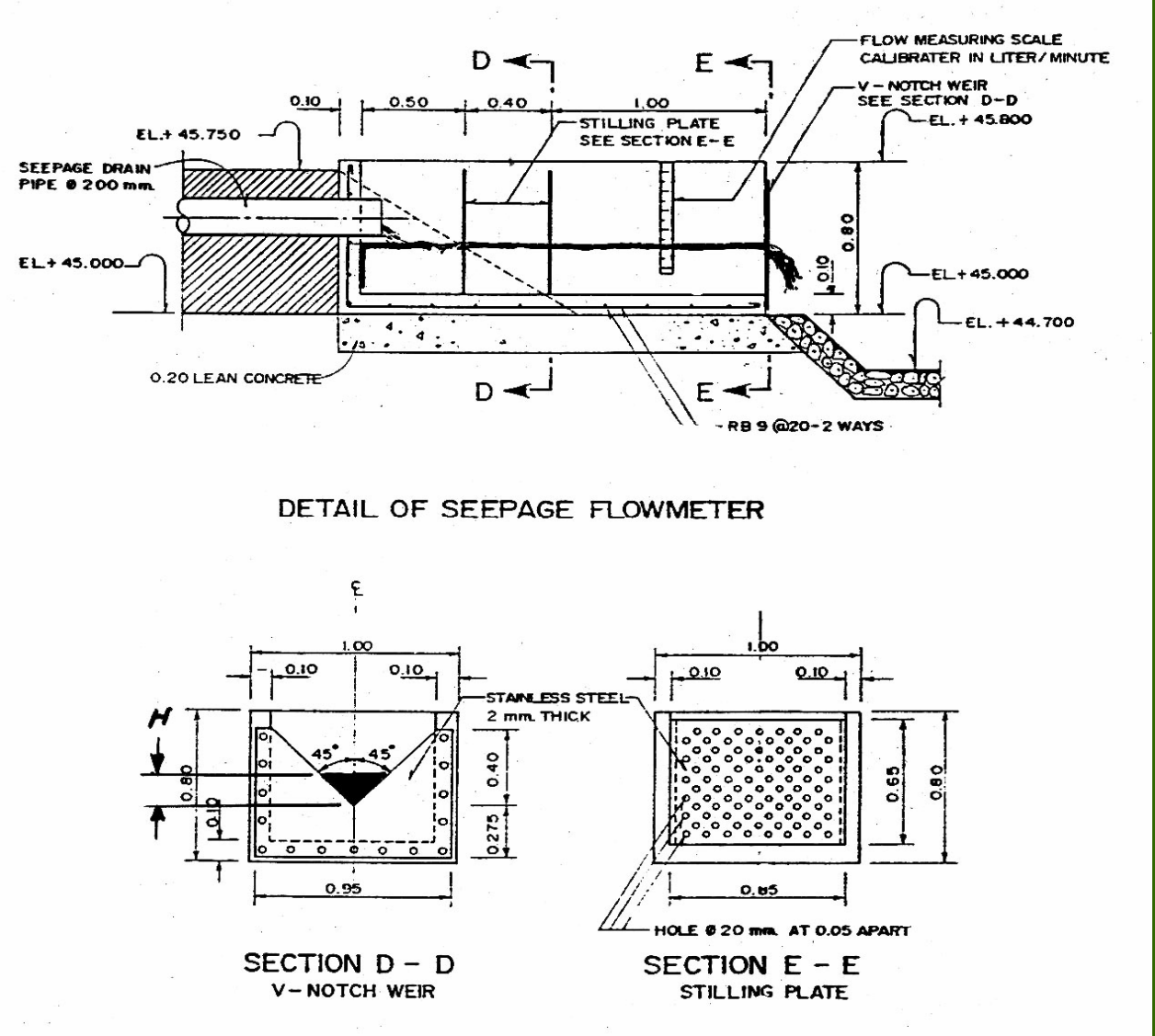
EMBANKMENT

Inside view of settlement cell of EHOS-35

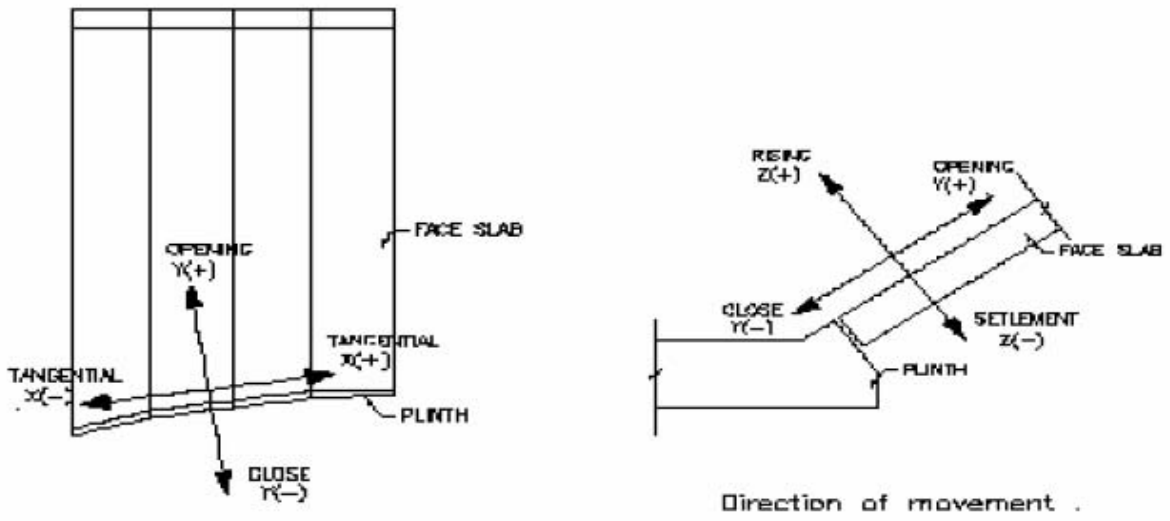



V3
V2
V1
V3
V2
V1
V3
V2
V1
2007/08/31 13:48

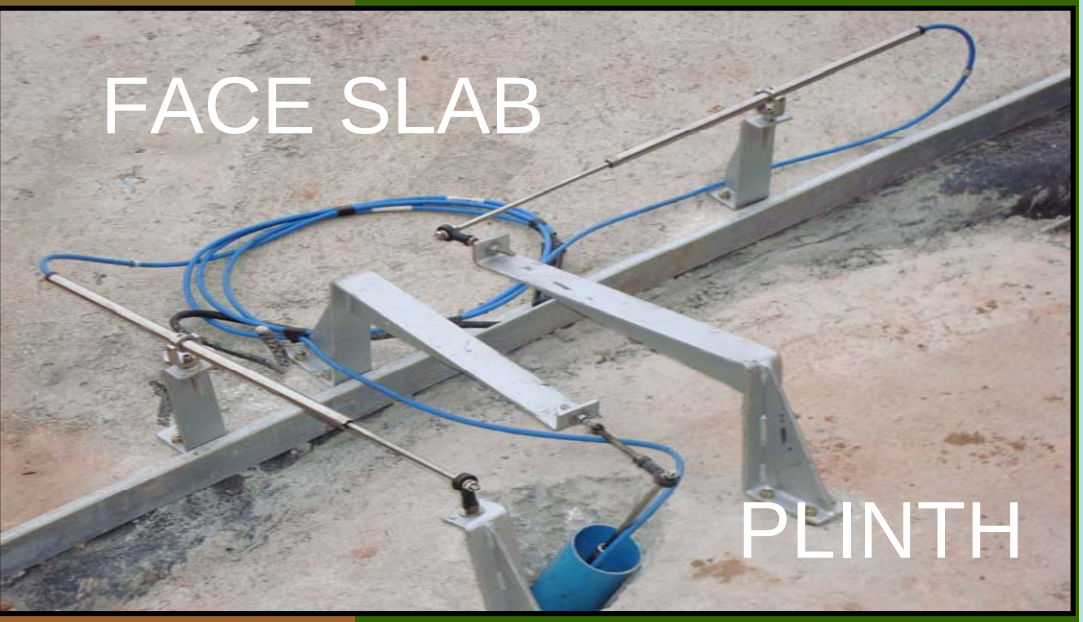
Seepage Flowmeter (V-Notch Weir)



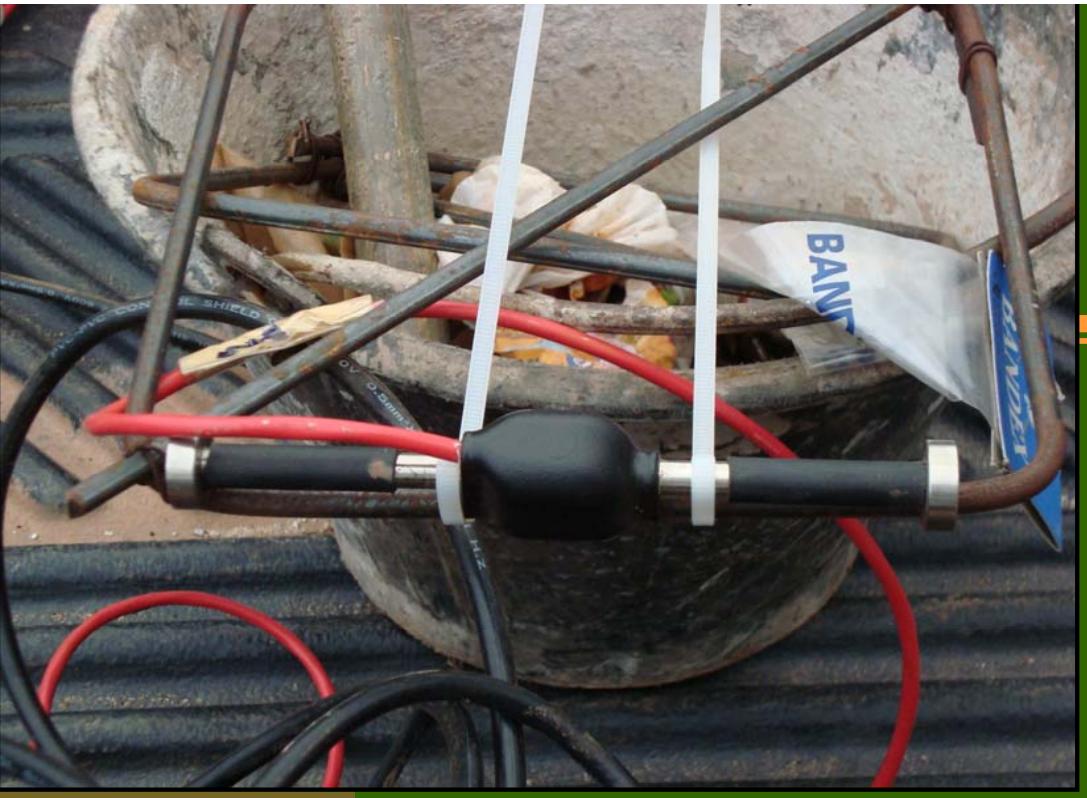
Joint Meter

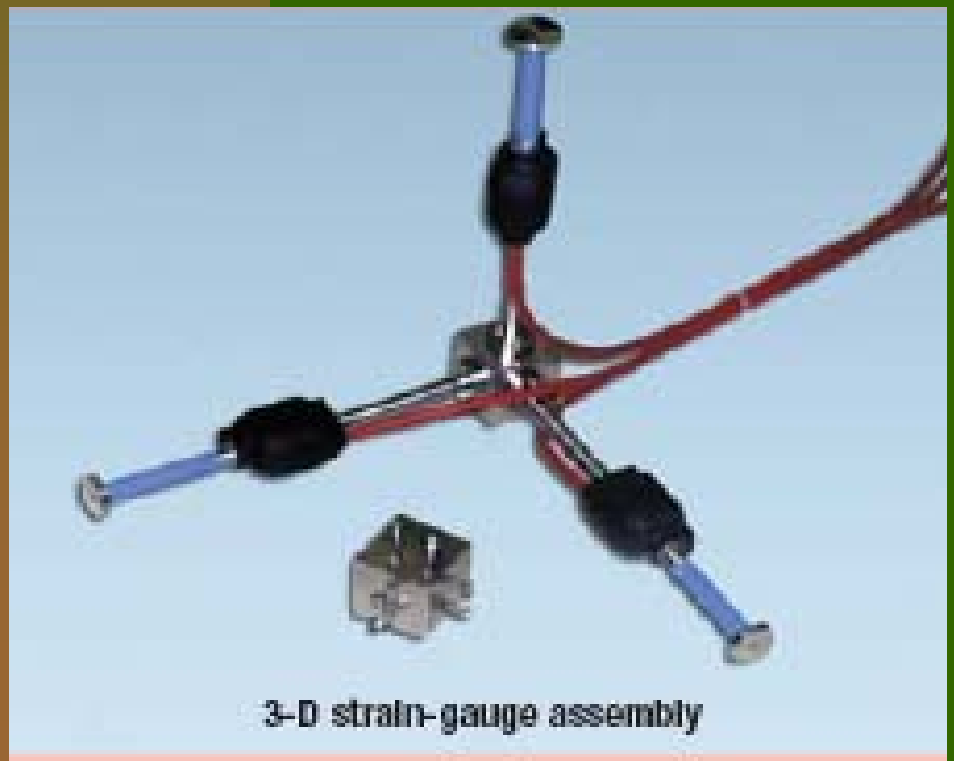


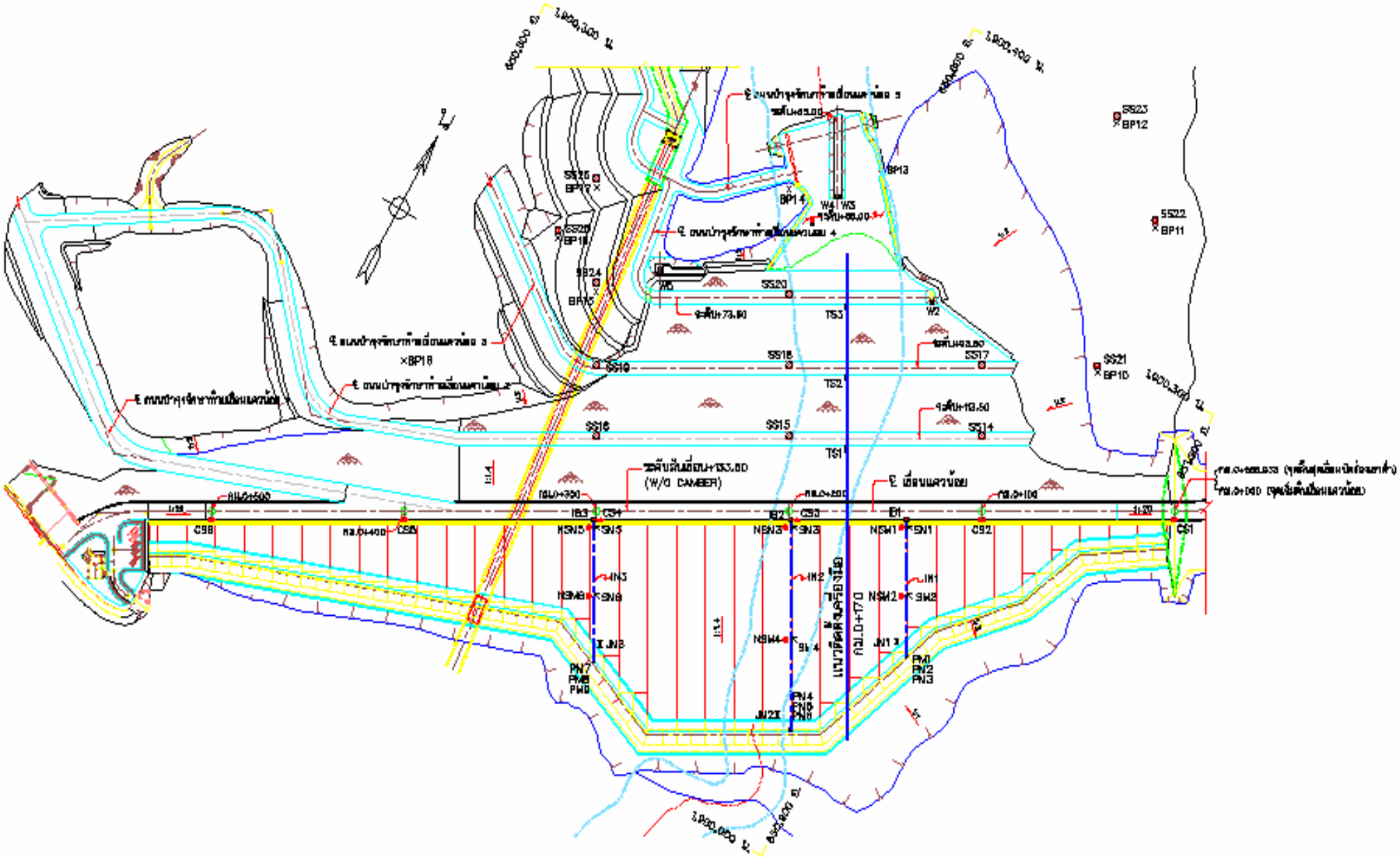
รูปที่ 1-6 แสดงการให้สัญลักษณ์ทิศทางการอ่านค่า **PERMETRIC JOINT METER**



Strain Meter

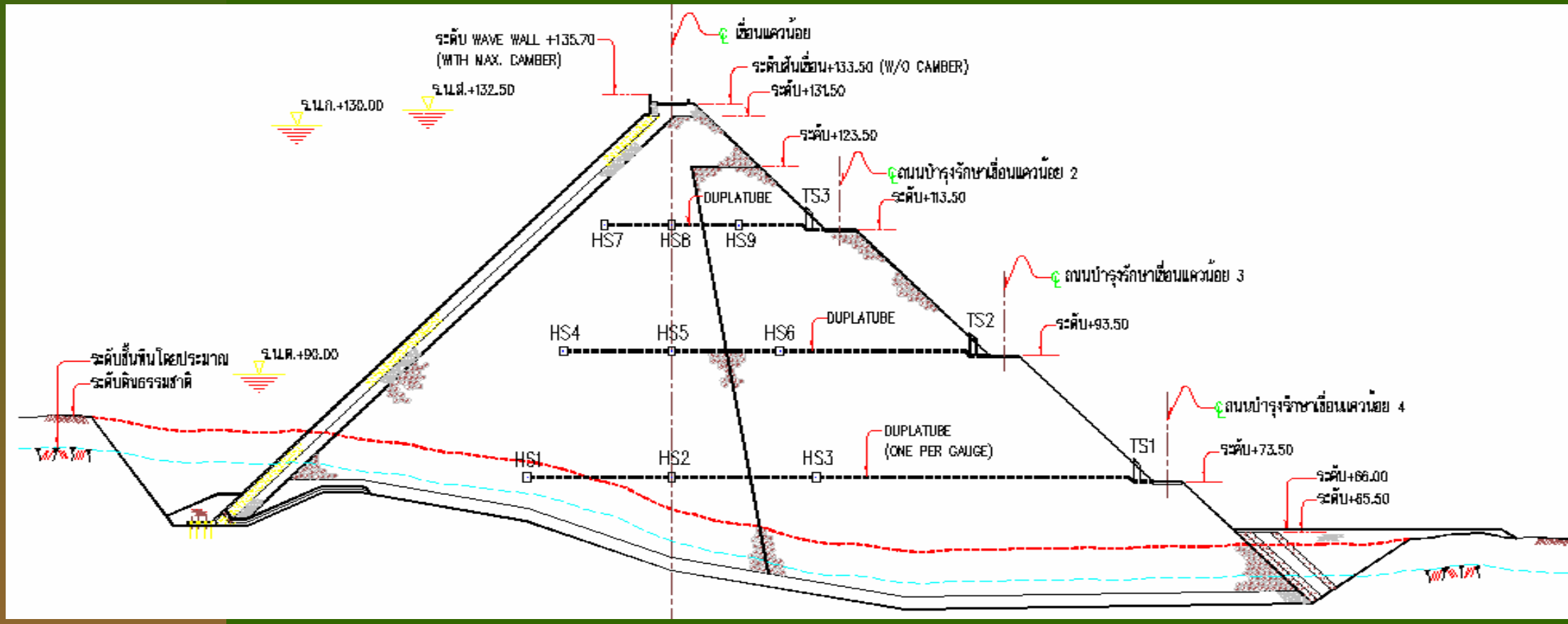






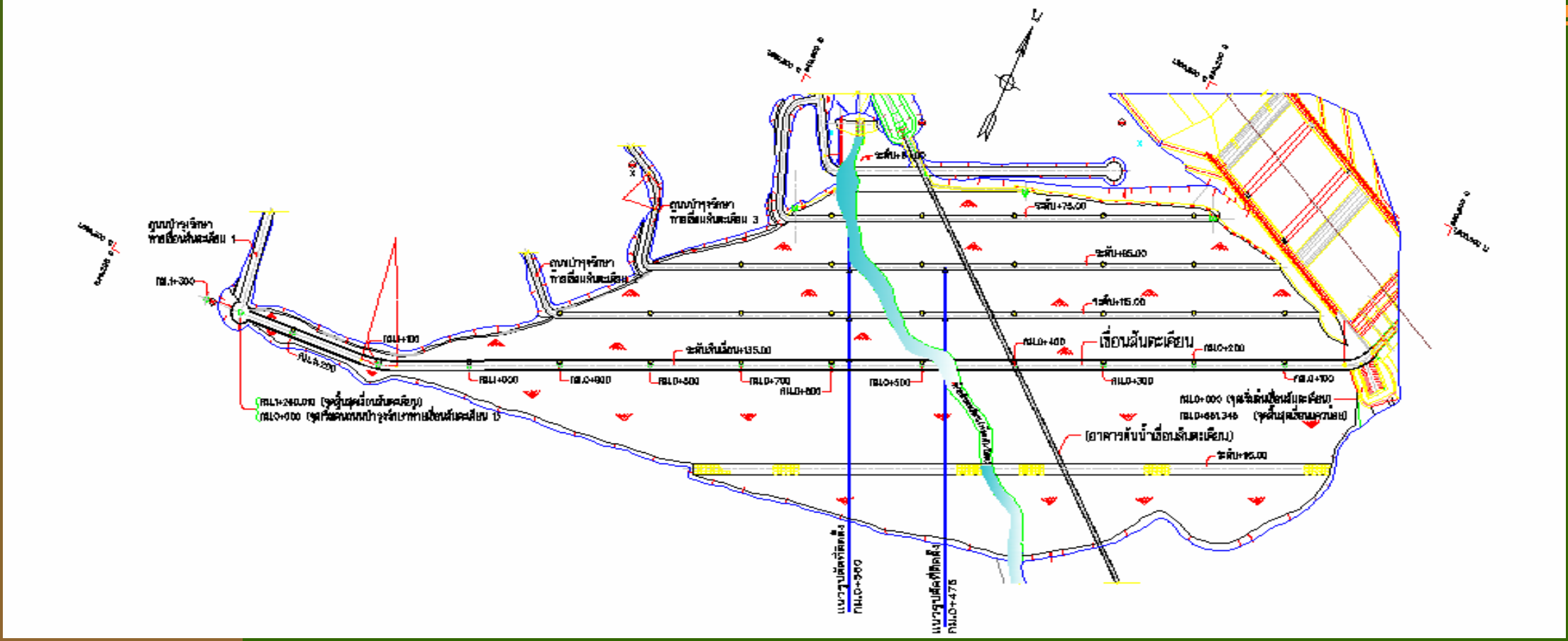
INSTRUMENTATION

แปลนแสดงตำแหน่งที่ตั้งบริเวณเขื่อนแควน้อย



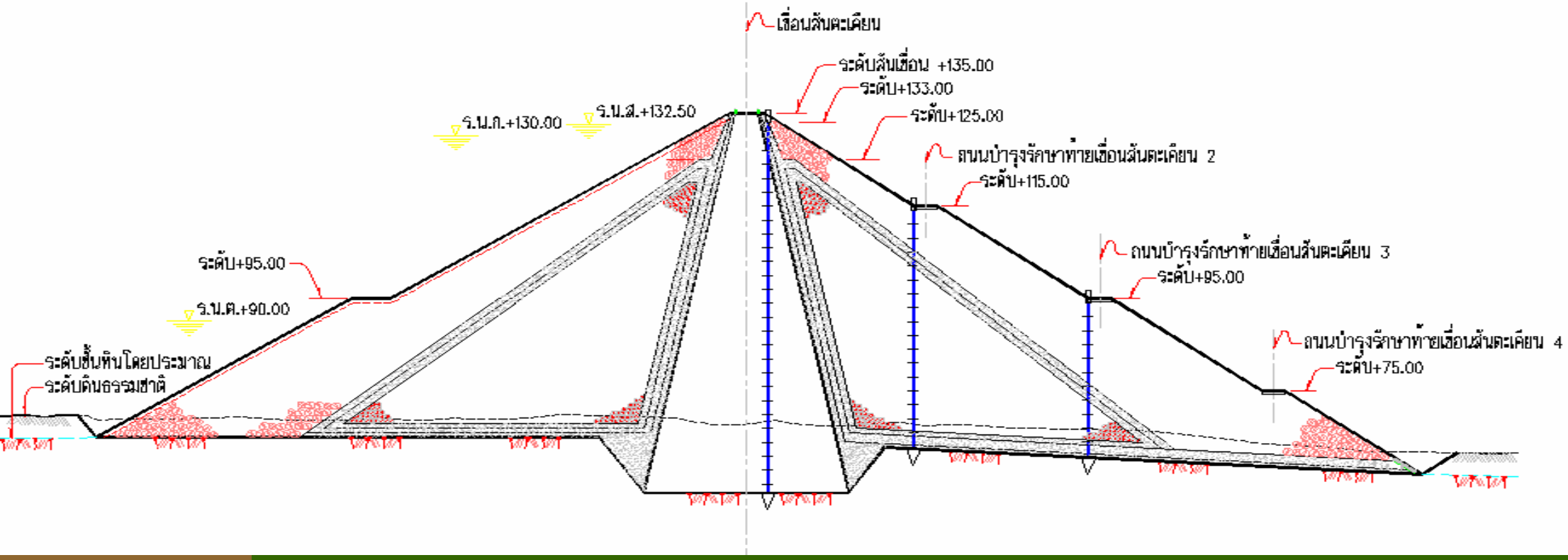
รูปตัดตามขวางตัวเขื่อน กม.0+170

แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด



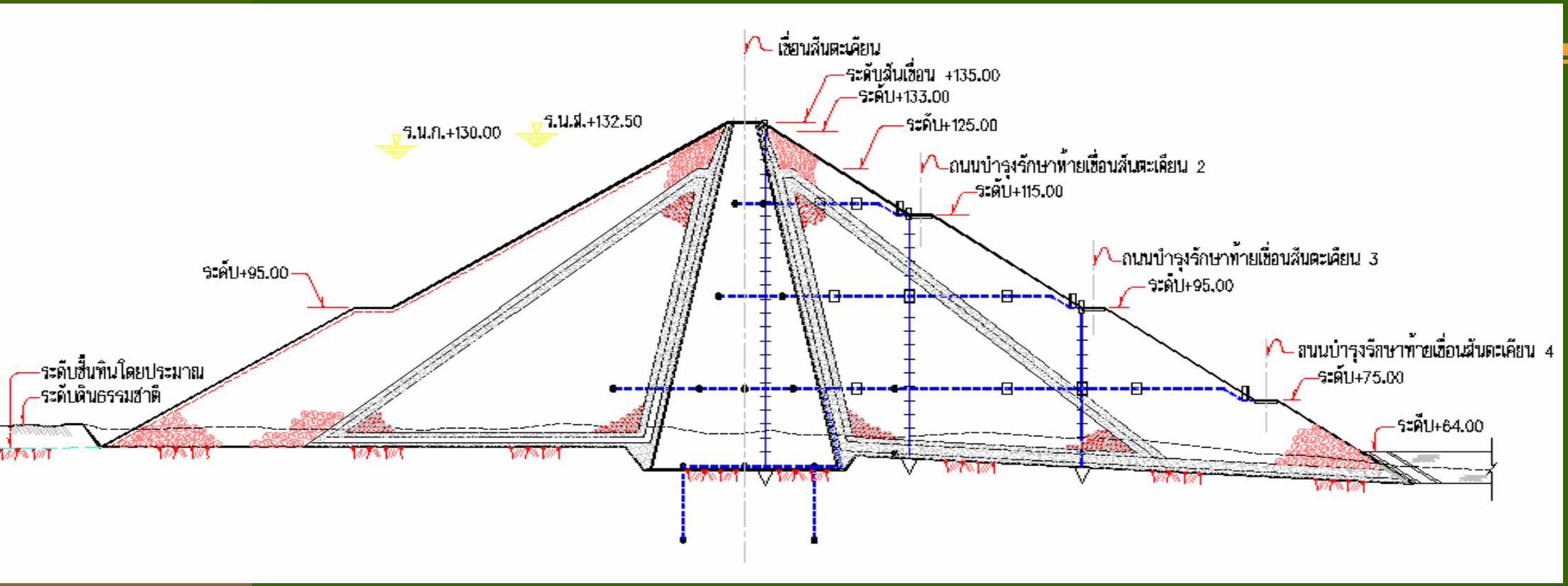
INSTRUMENTATION

แปลนแสดงตำแหน่งที่ตั้งบริเวณเขื่อนสันตะเคียน



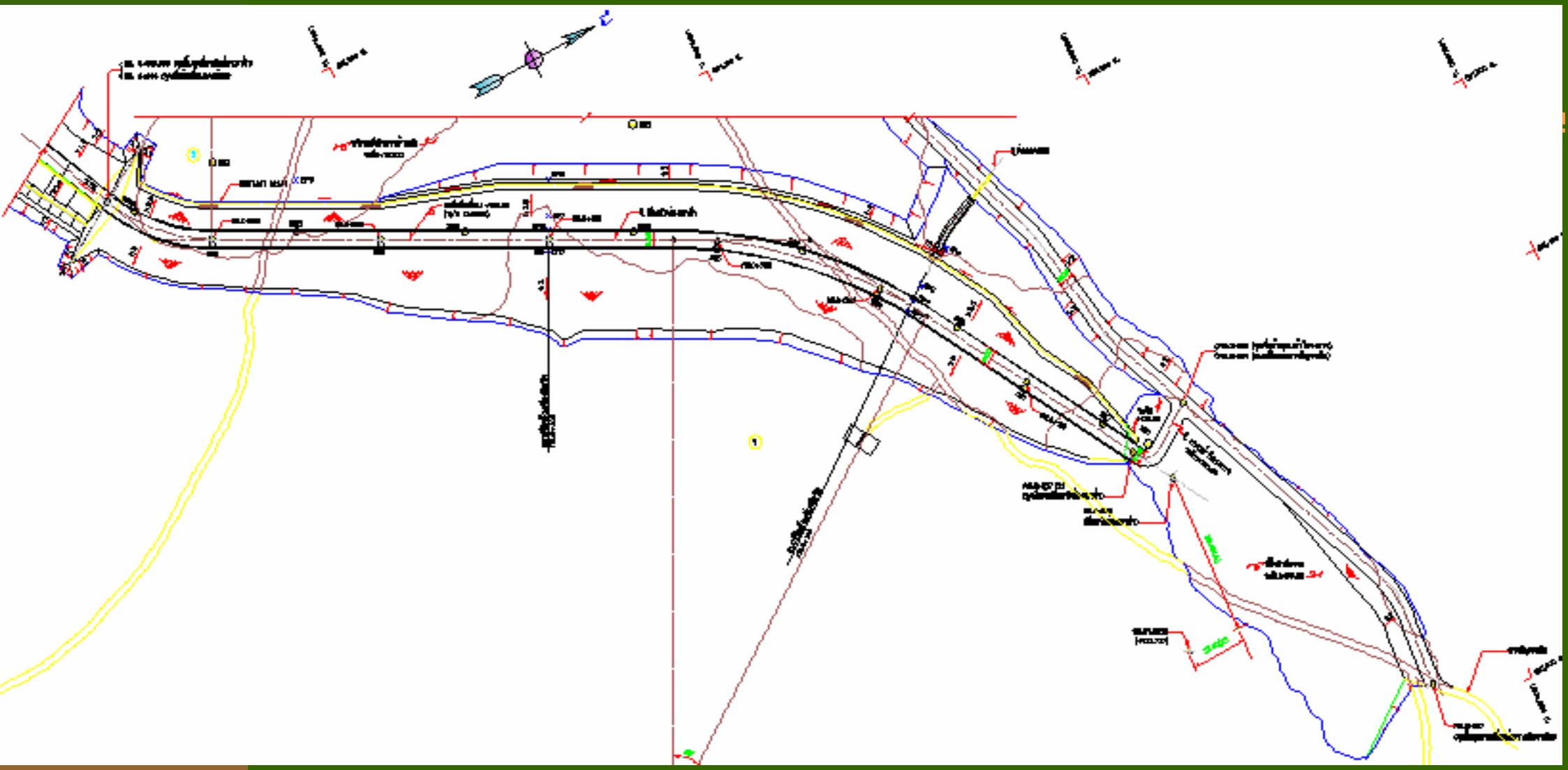
รูปตัดขวางตัวเขื่อน กม.0+475

แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด



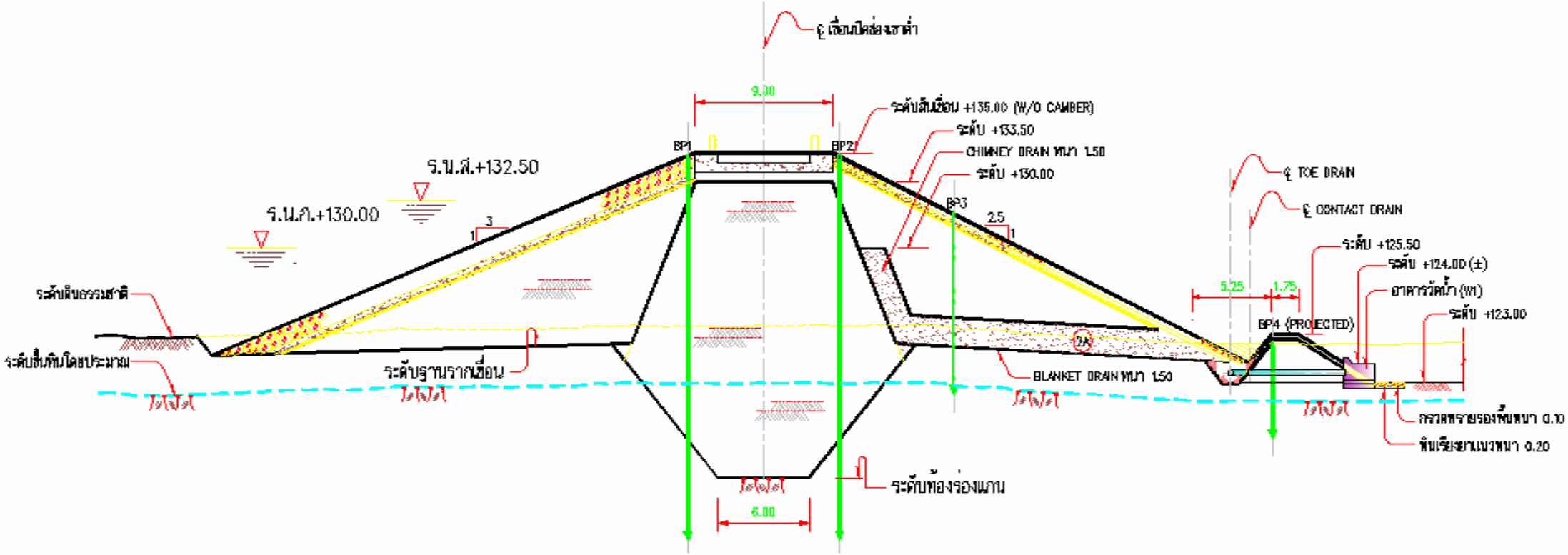
รูปตัดขวางตัวเขื่อน กม.0+580

แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด



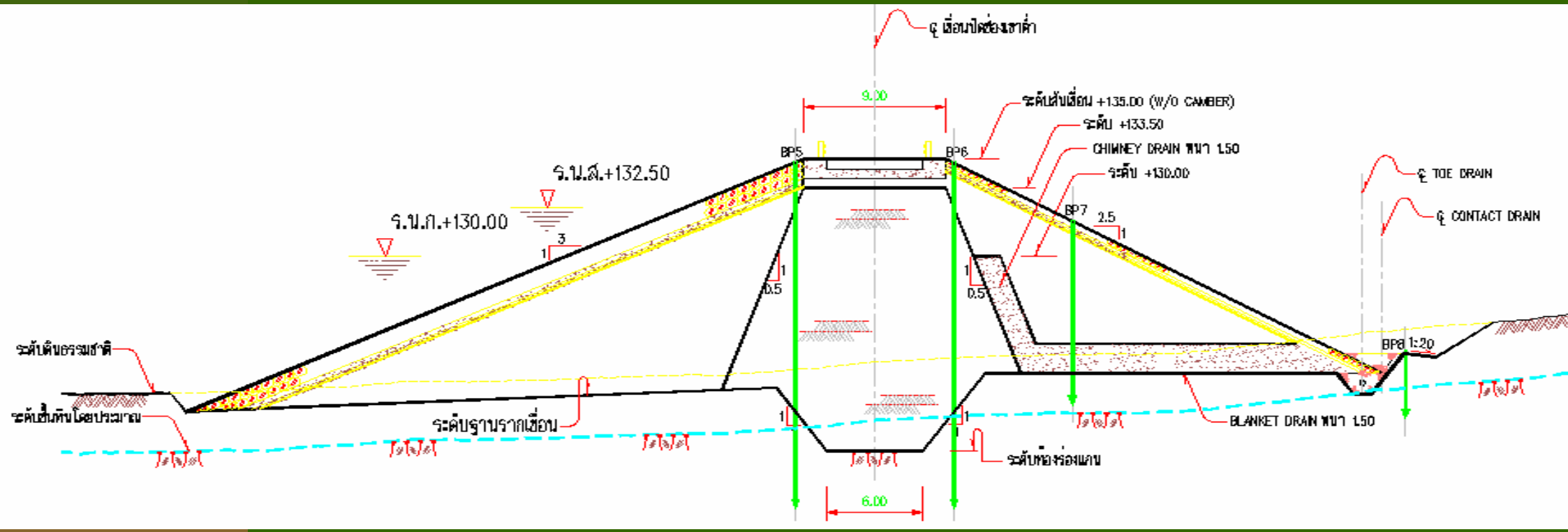
INSTRUMENTATION

แปลนแสดงตำแหน่งที่ตั้งบริเวณเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ



รูปตัดขวางตัวเขื่อน กม.0+180

แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด



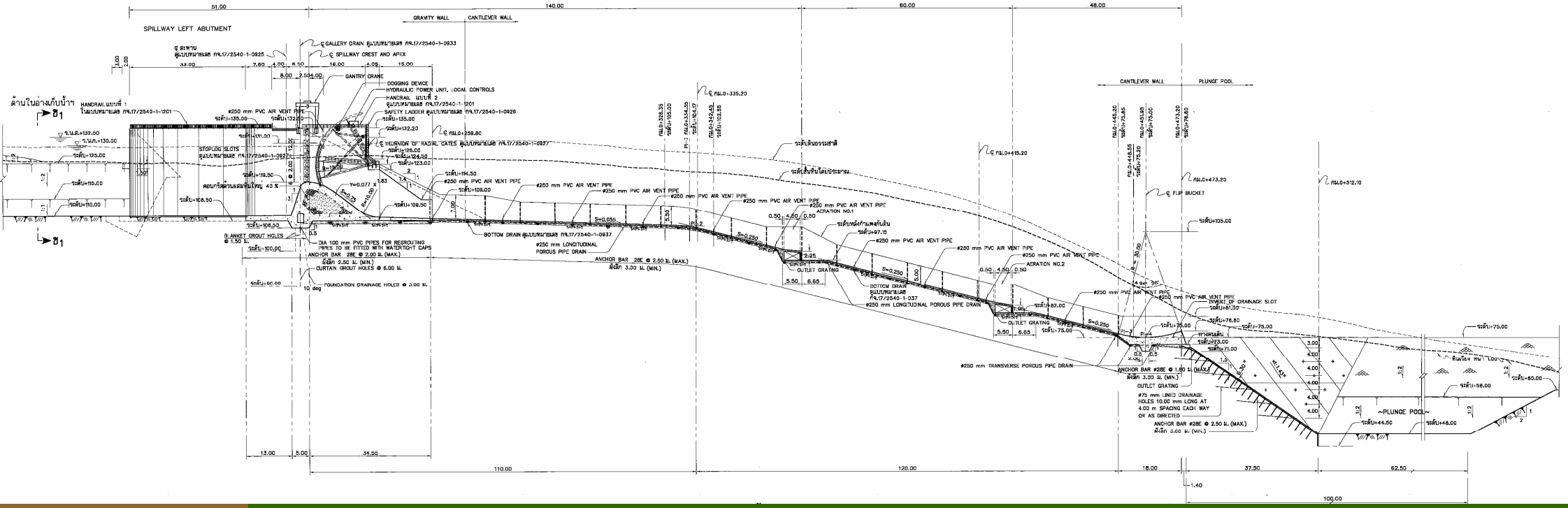
รูปตัดขวางตัวเขื่อน กม.0+180

แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด

จัดทำแผนการอ่านค่าเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน

ลำดับ	อุปกรณ์วัด	ช่วงเวลาการอ่านค่า			
		ระหว่างการก่อสร้าง ดำเนินการโดย ผู้รับจ้าง		หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ ดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	
		ระหว่างการก่อสร้าง	ก่อนเก็บกักน้ำ	ระหว่างเก็บกักน้ำ	เก็บกักน้ำเต็มอ่าง
1	Hydrostatic Settlement Gauges	ทุกสัปดาห์	ทุกวันเป็นเวลา 1 อาทิตย์	ทุกวัน	- ทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ - หลังจาก 1 สัปดาห์ ทุก 2วัน เป็นเวลา 1 เดือน - หลังจาก 1 เดือน ทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 1 ปี - หลังจาก 1 ปี ทุก 1 เดือน
2	Crest and Surface Settlement Points (Survey Monument), Reference Benchmarks	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
3	Open Standpipe Piezometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
4	Vibrating Wire Piezometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
5	Seepage Measuring Weirs	ทุกวัน		ทุกวัน	
6	Staff gauges	ทุกวัน		ทุกวัน	
7	Inclinometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
8	Joint Meters and Perimetric Joint Meters	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
9	Strain Meter and Non-Stress Strain Meter	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	

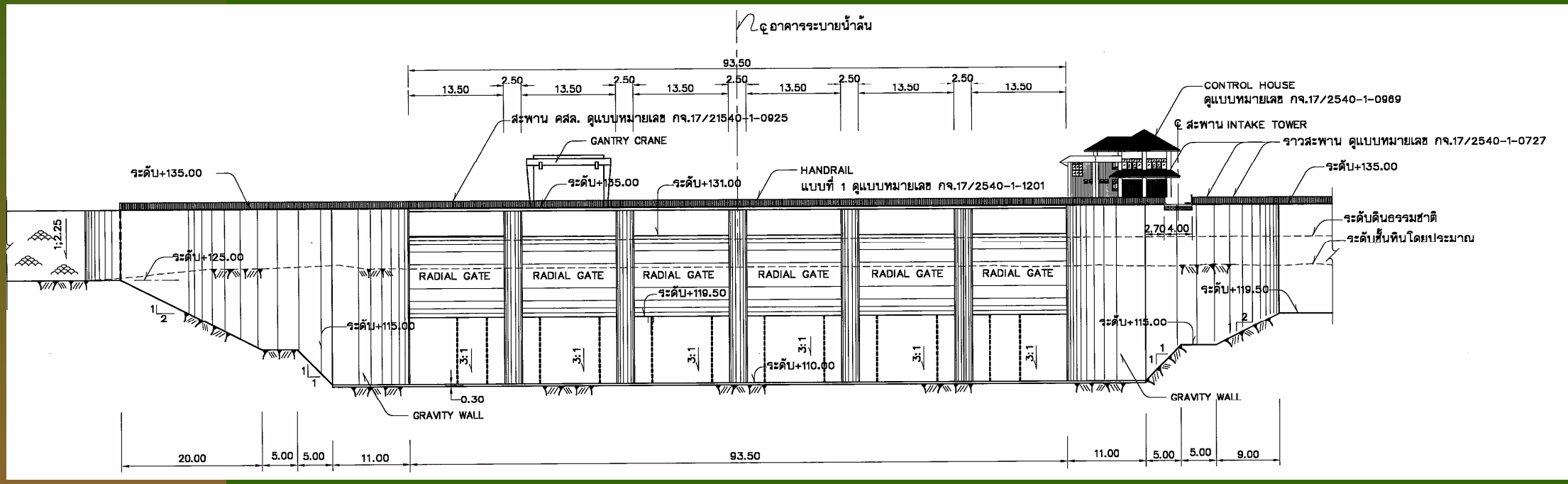
อาคารระบายน้ำล้น



-บานเหล็กบานโค้ง จำนวน 6 บาน กว้าง 13.50 ม. สูง 11.75 ม.

-ระบายน้ำสูงสุด 8,023 ลบ.ม./วินาที ที่ PMF

อาคารระบายน้ำล้น



-บานเหล็กบานโค้ง จำนวน 6 บาน กว้าง 13.50 ม. สูง 11.75 ม.

-ระบายน้ำสูงสุด 8,023 ลบ.ม./วินาที ที่ PMF

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น

DOWNSTREAM OF PIERS

SPILLWAY-WAVE PATTERN

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น

$Q_{1,000}$

$Q_{10,000}$

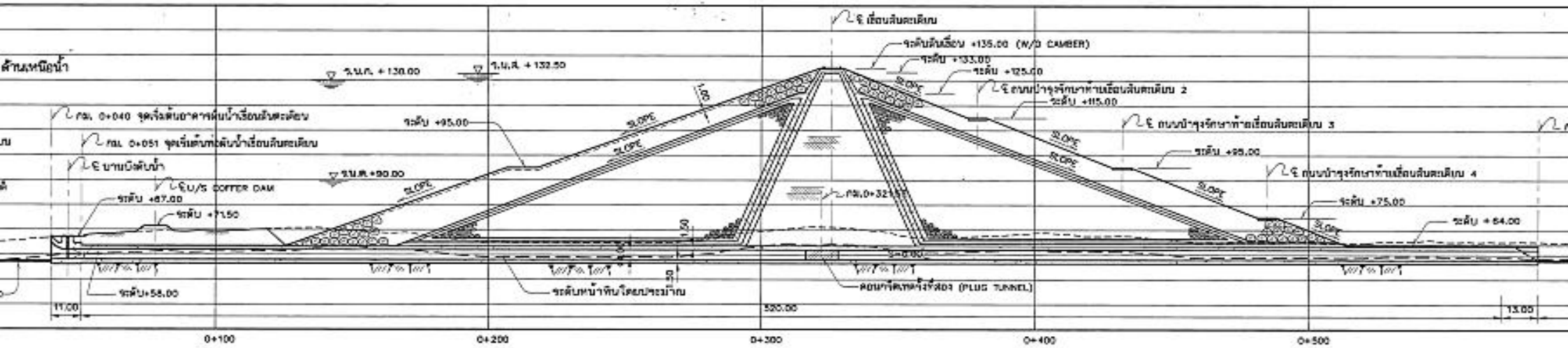
Q_{PMF}

$Q_{1,000}$

$Q_{10,000}$

Q_{PMF}

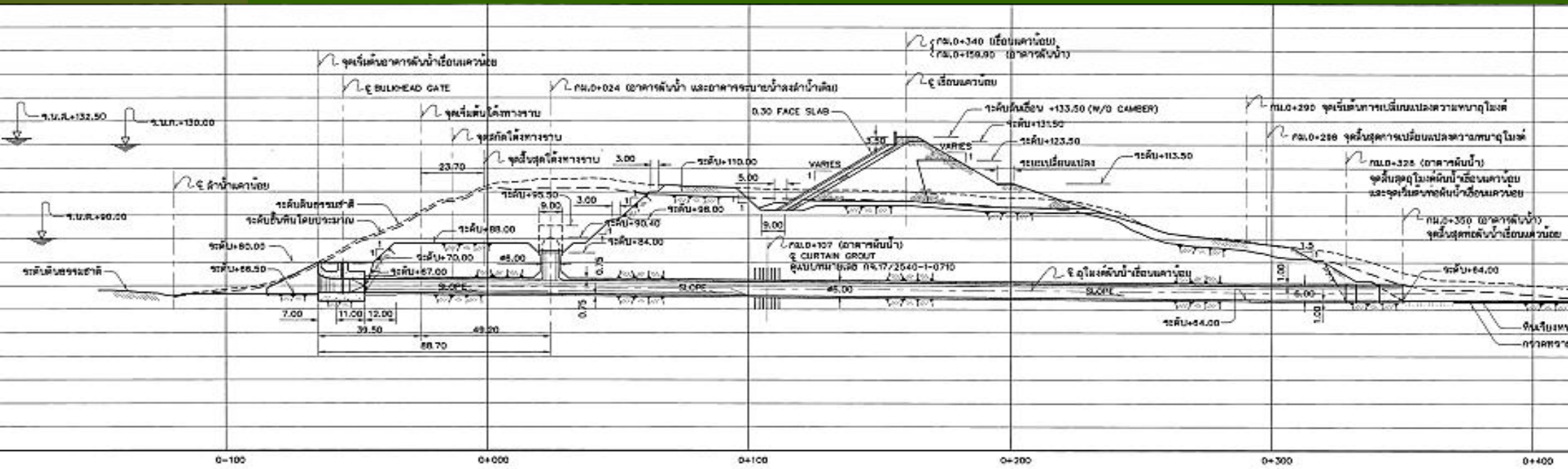
อาคารผันน้ำเขื่อนสันตะเคียน



-ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 ม.

-ระบายน้ำสูงสุด 110 ลบ.ม./วินาที

อาคารผันน้ำเขื่อนแควน้อย



-อุโมงค์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.00 ม.

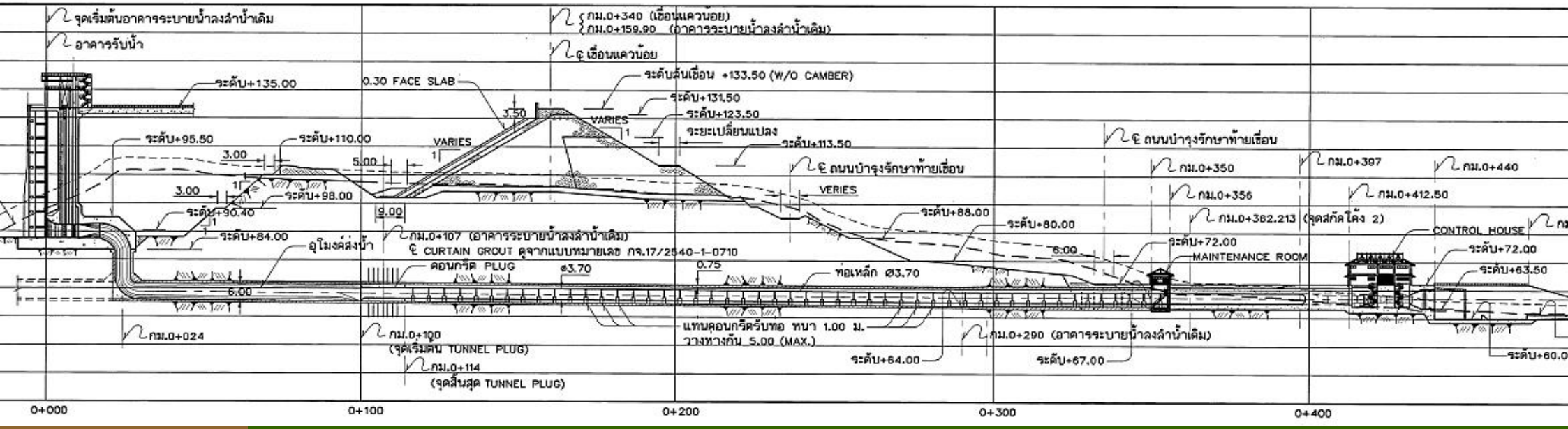
-ระบายน้ำได้สูงสุด 341.30 ลบ.ม./วินาที

แปลนอาคารระบายน้ำลงลำน้ำเดิม

-ท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 ม.

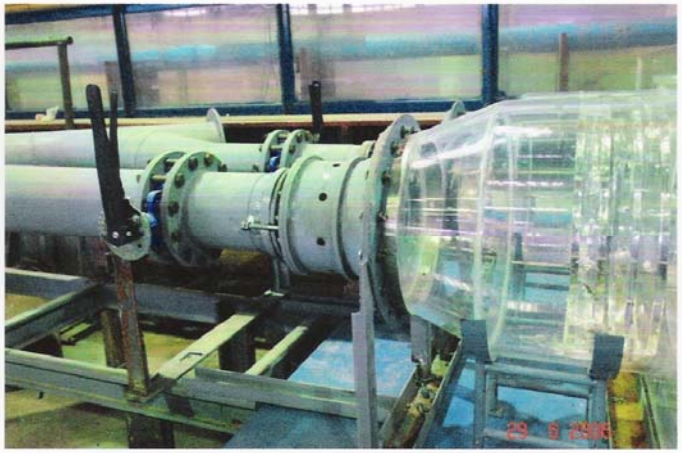
-ระบายน้ำได้สูงสุด 178.99 ลบ.ม/วินาที

รูปตัดตามยาวอาคารระบายน้ำลงลำน้ำเดิม

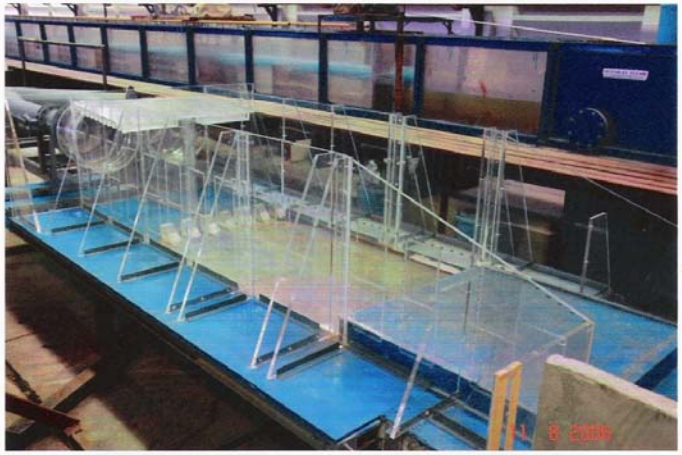


Model test ของ Outlet

Hydraulic Model Study of Kwae Noi River Outlet Works

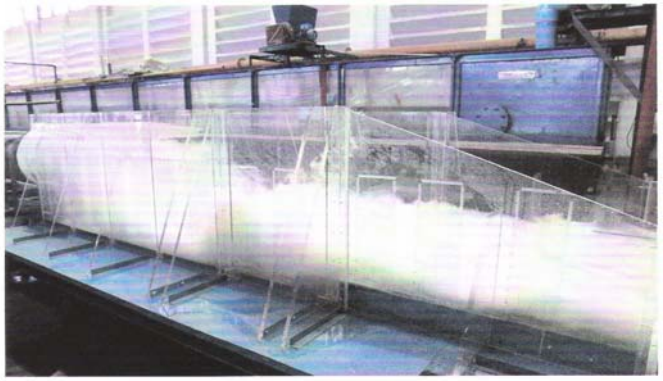


Photograph 1. - Fixed-cone valve outlet model.



Photograph 2. - Downstream stilling basin and discharge channel.

Hydraulic Model Study of Kwae Noi River Outlet Works



Photograph 4. - Hydraulic condition for test on Case 2 with two valves 100% open at abnormal discharge of 179 m^3/s and reservoir at FSL.

การควบคุมงานก่อสร้าง

- การตรวจสอบ-แก้ไขแบบก่อสร้าง
- การควบคุมงานก่อสร้าง (คุณภาพงาน, ปริมาณงาน, เวลาในการก่อสร้าง)
- การส่งมอบงานให้ฝ่ายบำรุงรักษาและฝึกอบรม
- การจัดทำรายงานทางวิชาการ

สภาพงานก่อสร้าง

สภาพงานก่อสร้างเขื่อนแควน้อย

การก่อสร้าง Face Slab

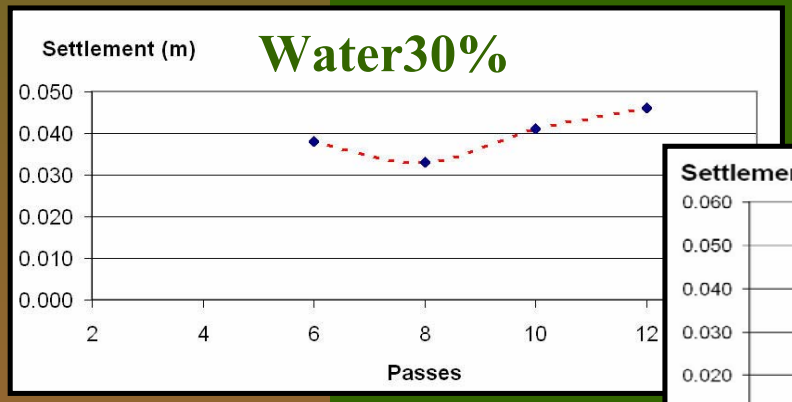

เขื่อนสันตะเคียน

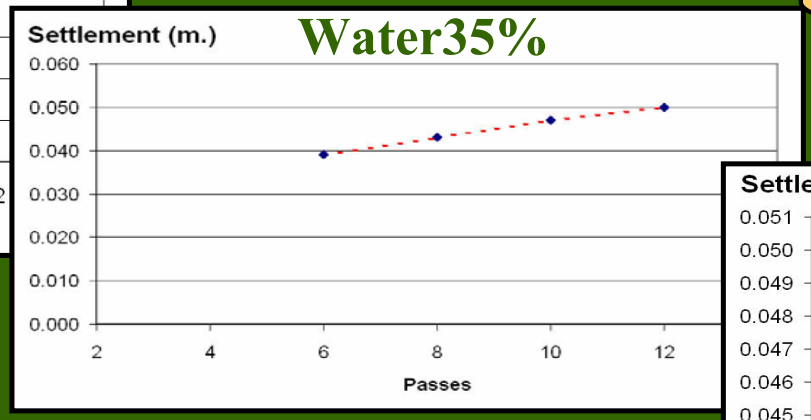

เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ


พื้นที่น้ำท่วม (ด้านเหนือน้ำ)

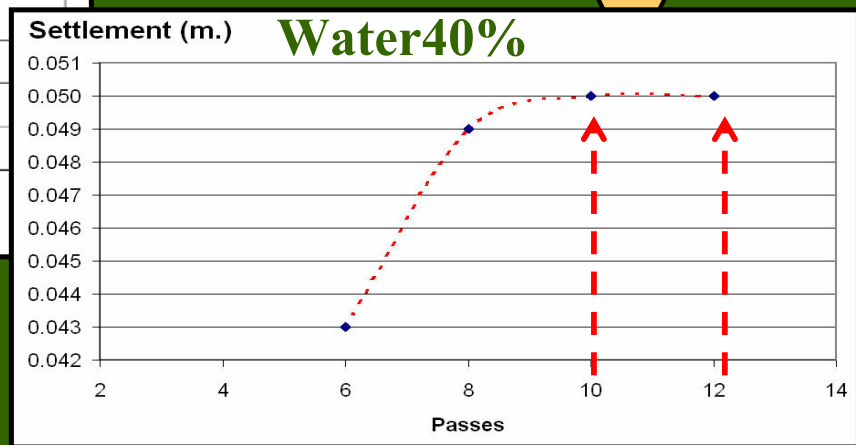
ผล Trials Test Section

Trial compacted test section for Zone 3 A by 10 ton vibrator roller				
Added water by	Average Settlemendt (m.)			
volume	6 Passes	8 Passes	10 Passes	12 Passes
30%	0.038	0.033	0.041	0.046
35%	0.039	0.043	0.047	0.050
40%	0.043	0.049	0.050	0.050





จำนวนน้ำ,จำนวนเที่ยวบดอัดที่เหมาะสม



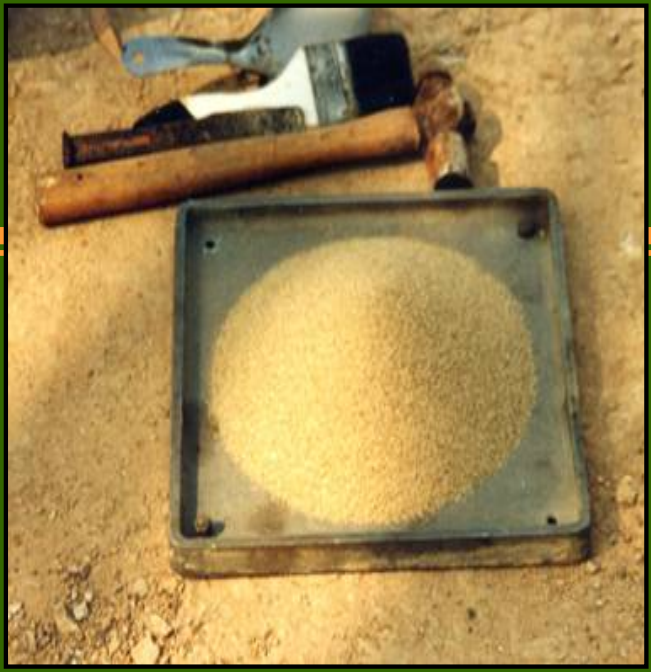
ข้อกำหนดวัสดุและการบดอัดหลังทำ Trial Section

Material	Zone	Material Particle Sizes		Max. thickness after compaction (m.)	Compaction Requrements			
		Max. Size (mm.)	% Fines		Compaction Equipment	Number of Passes	% Water	Dry Density (t/m^3)
Earth fill	1A	37.50	20-70	0.30				
Filter	2A	75	0-5	0.25				
	2B	75	0-5	0.25				
Cushion Layer	2C Fine Cushion	75	2-12	0.50	10t Vibratory	10	20	2.13
	2D Coarse Cushion	500	0-5	0.50	10t Vibratory	10	35	2.35
Rock fill	3A Rock fill	1000	0-10	1.00	10t Vibratory	12	40	2.34
	3B Coarse Rock fill	1500	0-10	1.50	10t Vibratory	12	40	2.29
	3C Drainge Rock fill	100	0-5	1.00	10t Vibratory	12	40	2.36

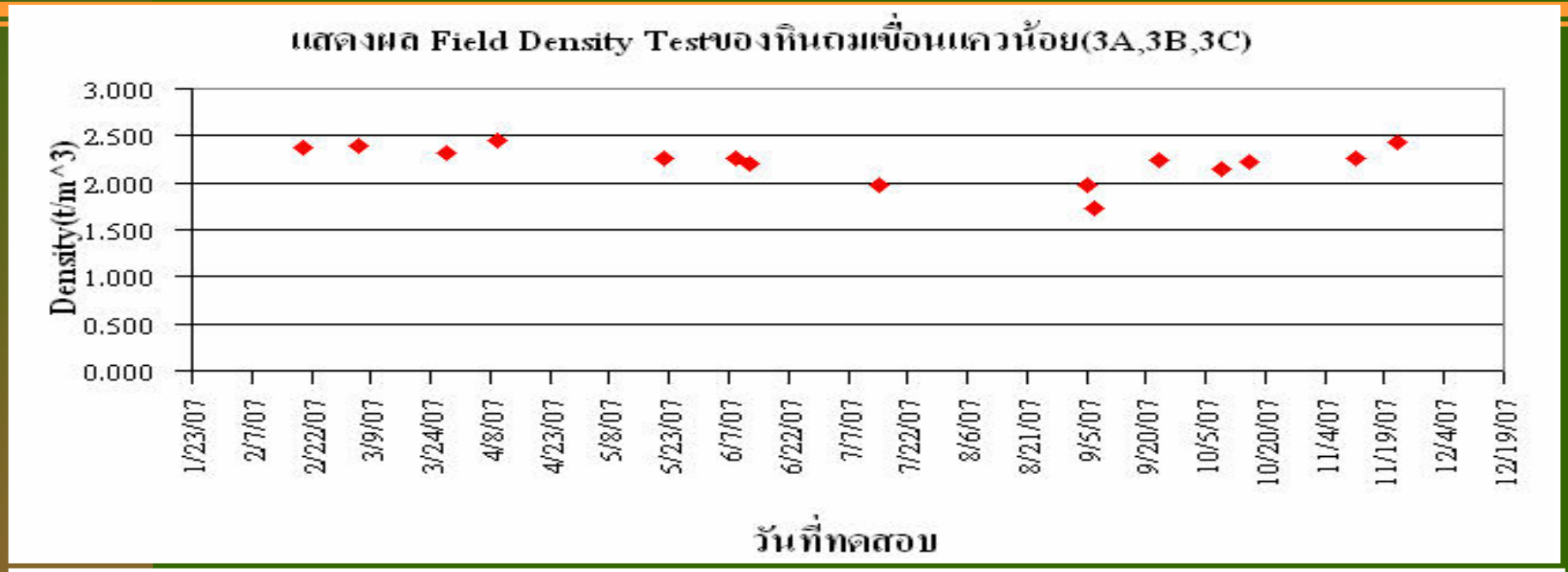
การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของการบดอัดหิน

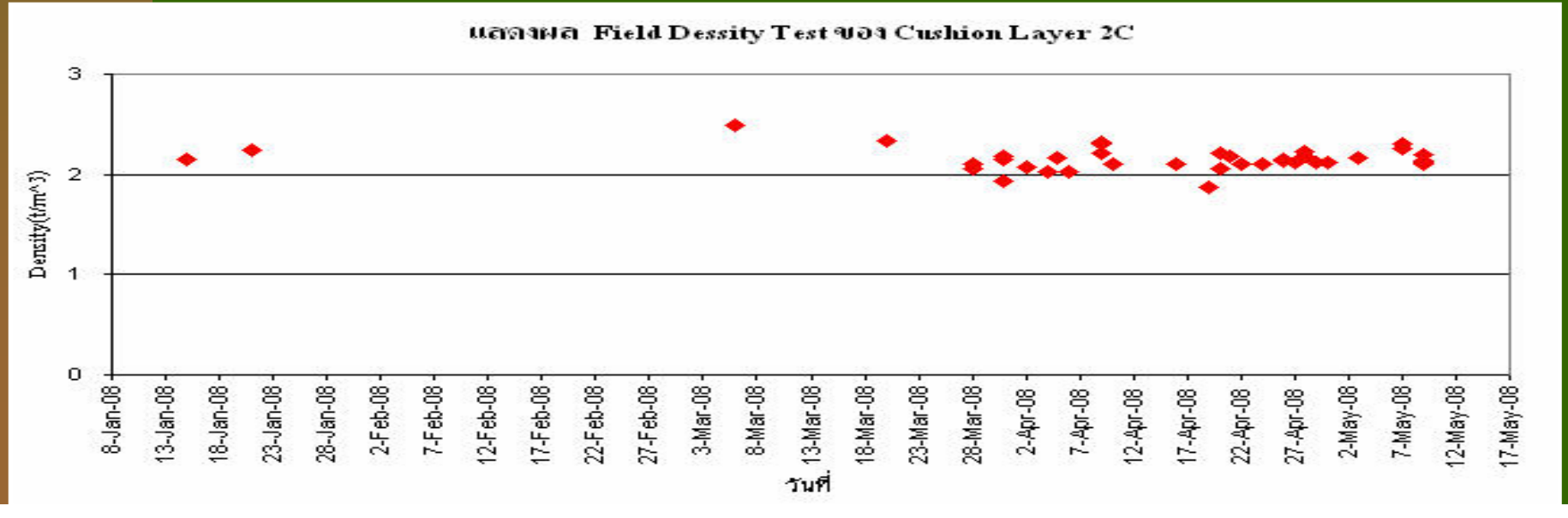
1. Field Density Test by Water Replacement

1. Field Density Test by Sand Cone

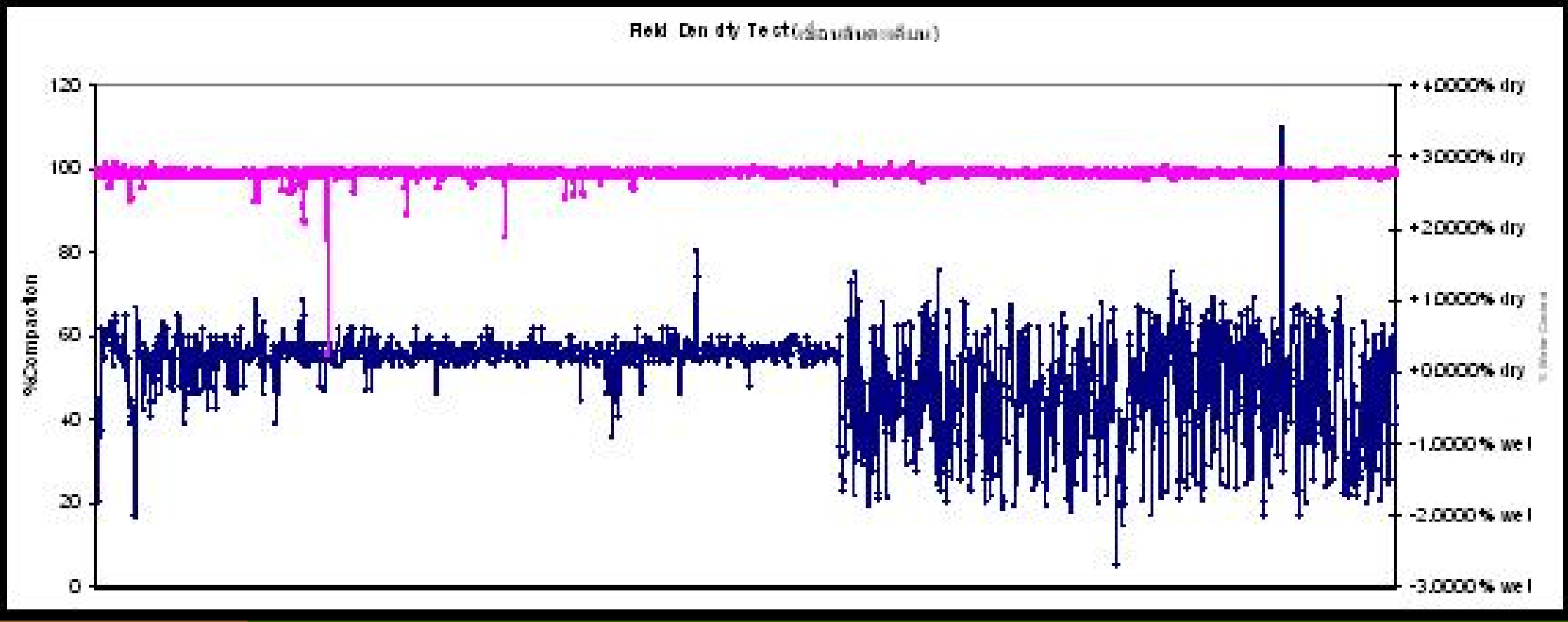


ผลการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของการบดอัดหิน

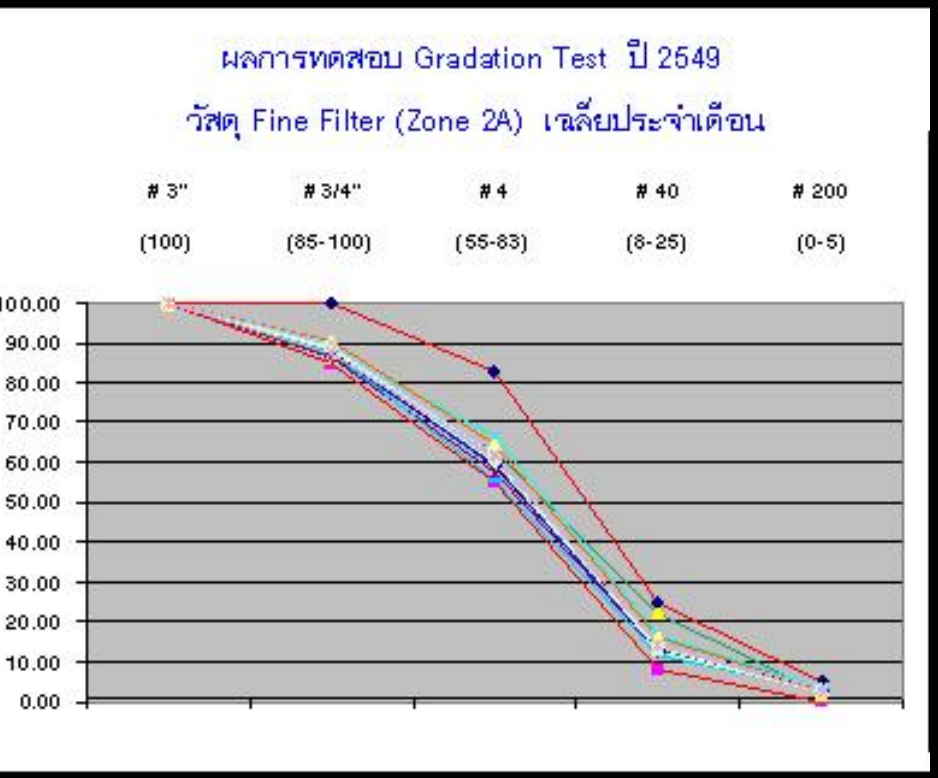


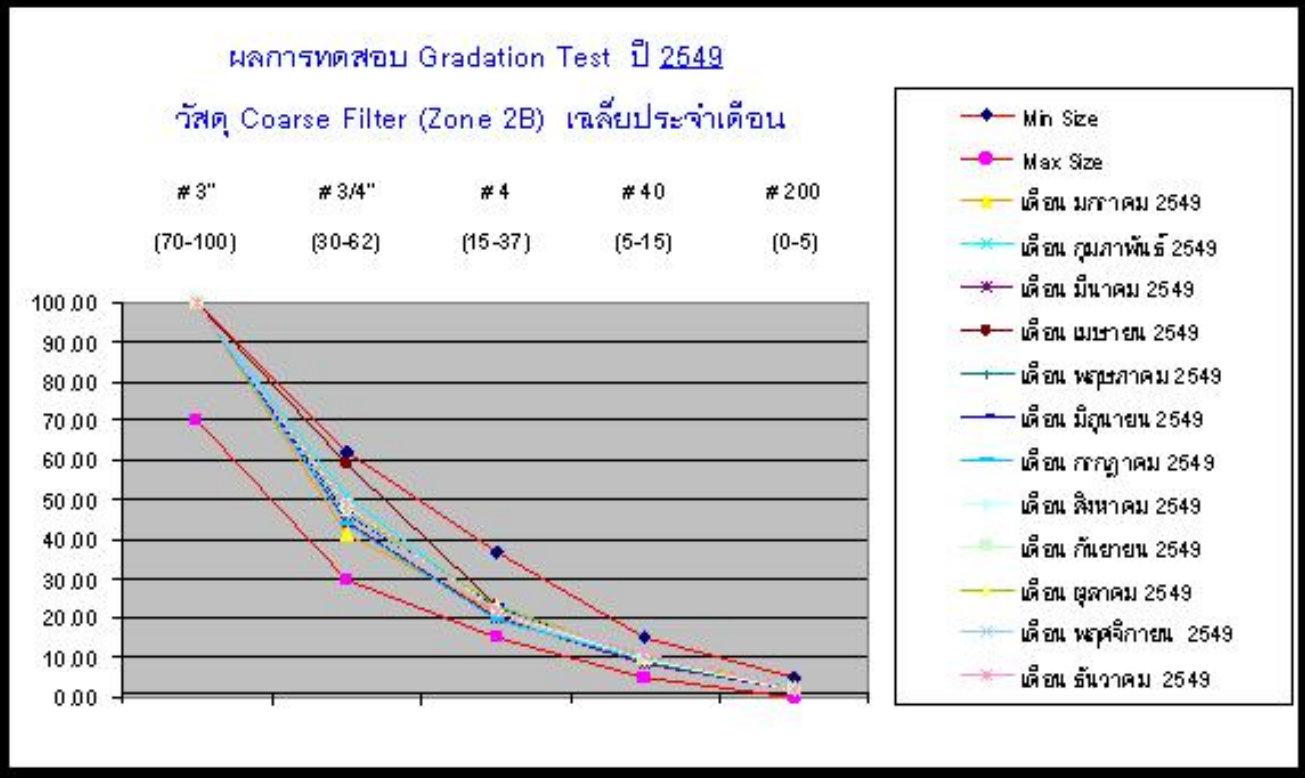


การทดสอบความแน่นดิน

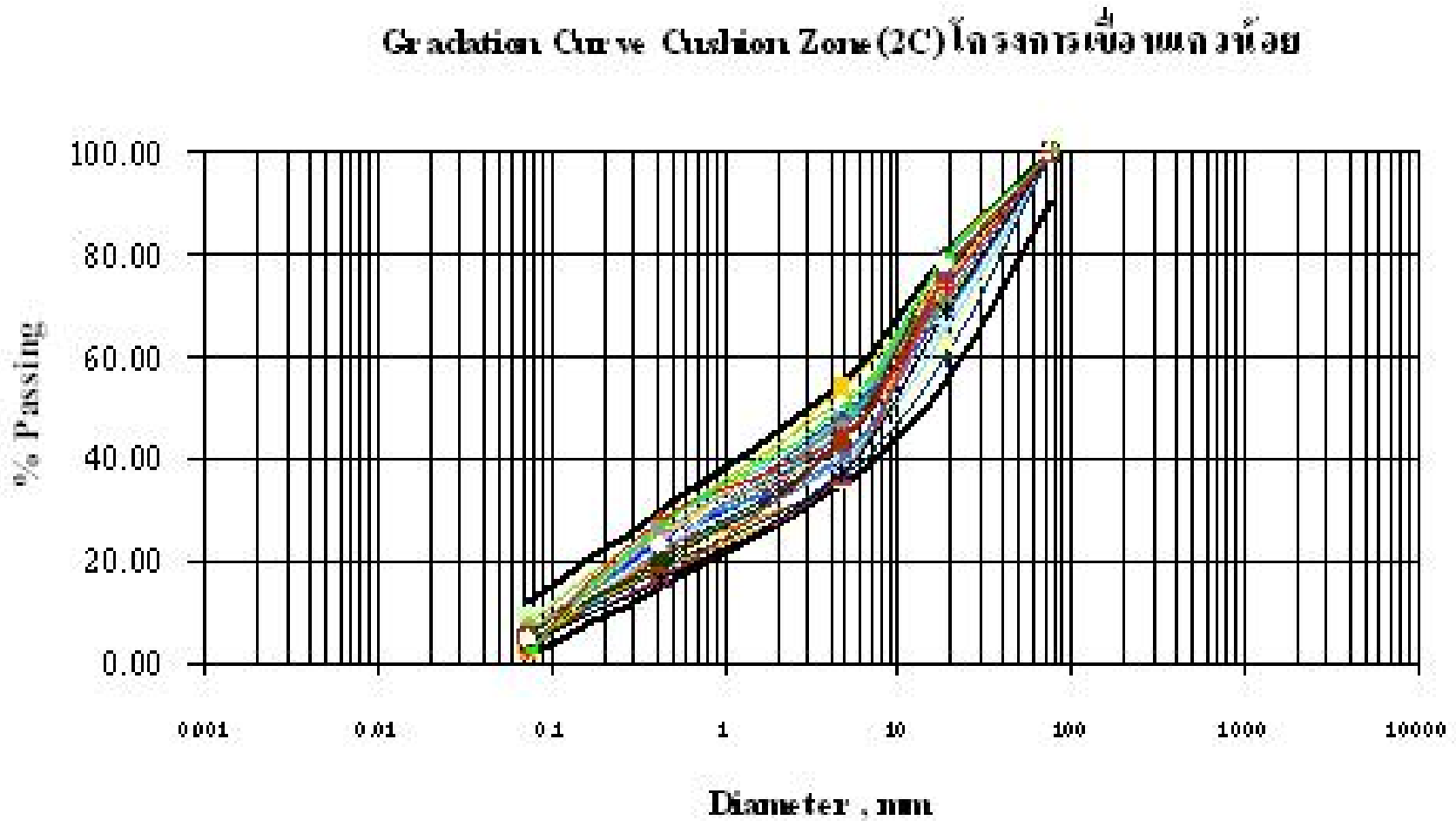


Gradation Test (Zone 2A,2B)





Gradation Test (Zone 2C)



การบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบ

แผนปฏิบัติความปลอดภัยเขื่อนและอาคารประกอบ

1

แผนการอ่านค่าเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน

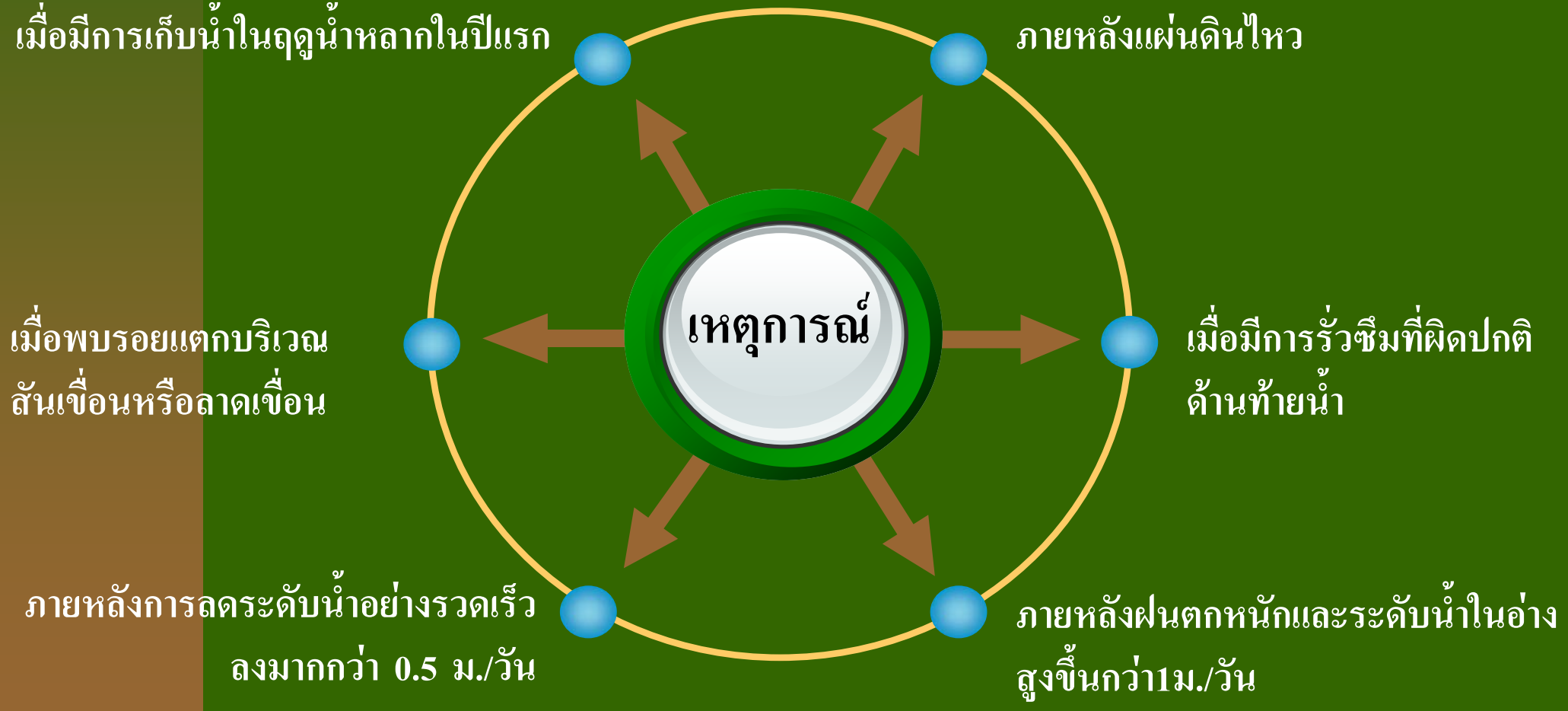
2

แผนการตรวจสอบสภาพเขื่อน

3

แผนปฏิบัติในสภาวะไม่ปกติ

แผนการอ่านค่าเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน



คู่มือการตรวจสอบสภาพเขื่อน

1.รายงานการตรวจสอบ

2. แบบฟอร์มการรายงานเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเขื่อน
แบบฟอร์มการติดตามตรวจสอบ

3. แนวทางการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาเขื่อน

คู่มือการตรวจสอบสภาพเขื่อน

1. รายงานการตรวจสอบ

ตัวอย่างรายงานการตรวจสอบ

ลาดด้านเหนือน้ำ สภาพทั่วไป : □ ดี □ ใช้ได้ □ บกพร่อง ความลาด : .....

ปัญหาที่บันทึก : □ ไม่พบ □ หินเรียง □ กัดเซาะ □ ลาดชันมาก □ รูโพรง □ ต้นไม้ □ วัชพืช

□ แอ่งยุบ □ ปูดบวม □ ความเสียหายจากสัตว์เลี้ยง □ เลื่อนถล่ม □ คอนกรีตผุพัง □ รอยแตก

□ หลุมถล่ม □ หินไหลไปกองที่ตีนเขื่อน □ หินเรียงเบี่ยงเบน □ รอยต่อคอนกรีตชำรุด

ข้อเสนอแนะ : .....

ลาดด้านท้ายน้ำ สภาพทั่วไป : □ ดี □ ใช้ได้ □ บกพร่อง ความลาด : .....

ปัญหาที่บันทึก : □ ไม่พบ □ รอยหญ้าหลุด □ กัดเซาะ □ ชันมาก □ รูโพรง □ ต้นไม้ □ วัชพืช

□ แอ่งยุบ □ ปูดบวม □ ความเสียหายจากสัตว์เลี้ยง □ เลื่อนถล่ม □ คอนกรีตผุพัง □ รอยแตก

□ หลุมถล่ม □ อื่นๆ : .....

ข้อเสนอแนะ : .....

รั่วซึมที่ลาดท้ายน้ำ ปริมาณ : □ มาก □ ปานกลาง □ น้อย □ ไม่พบ

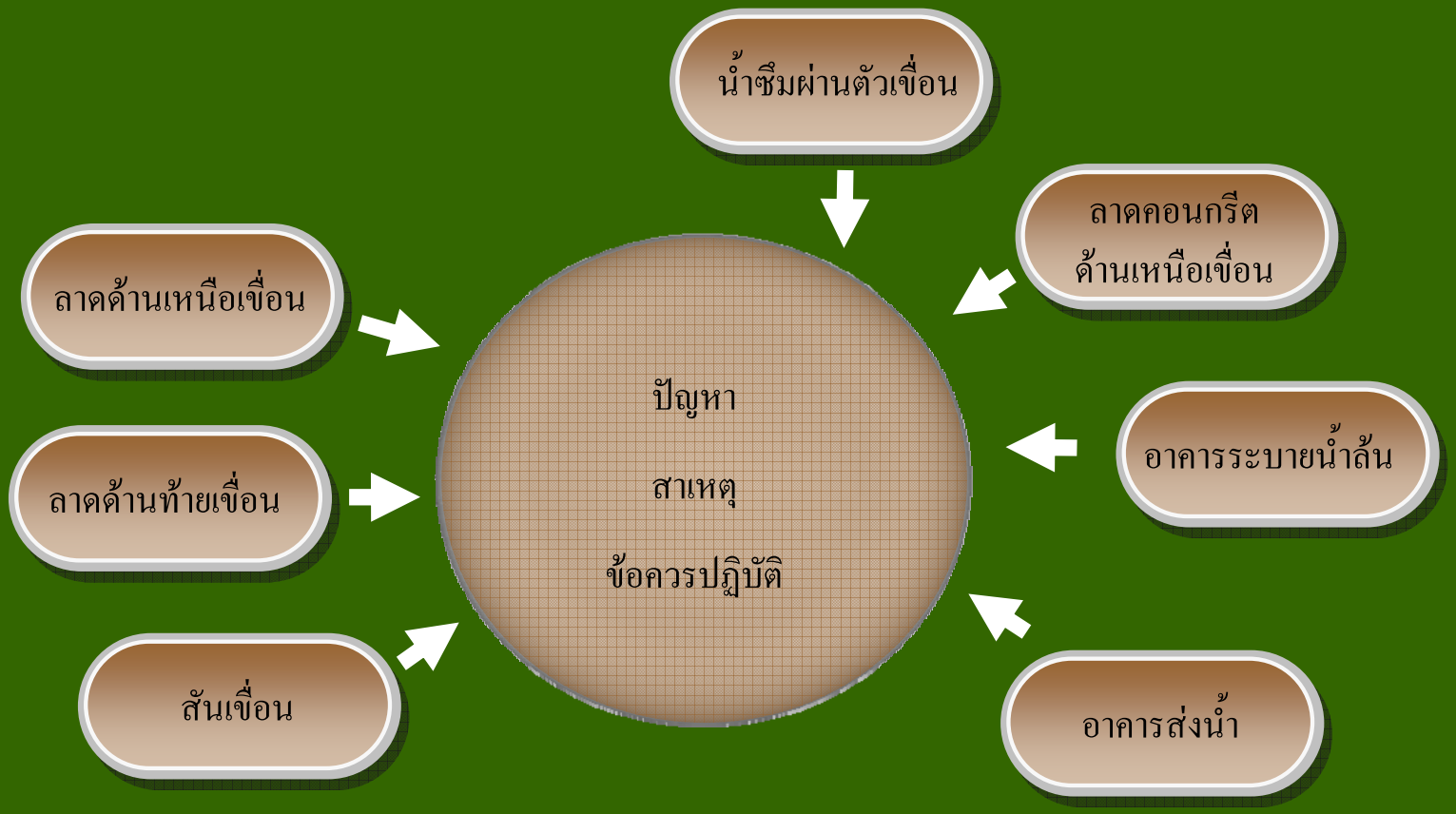
ปัญหาที่บันทึก : □ ไม่พบ □ เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัว ..... % □ มีตะกอนปนกับน้ำ

□ วัชพืชที่ตีนเขื่อน □ น้ำผิวดินที่ตีนเขื่อน □ การรั่วซึมตรงหย่อมหญ้าหลุดร่วง □ ไหลตลอดเวลา

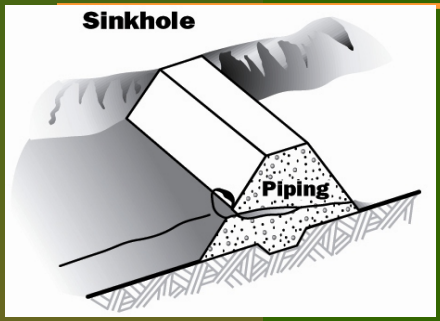
□ ไหลนานๆ ครั้ง

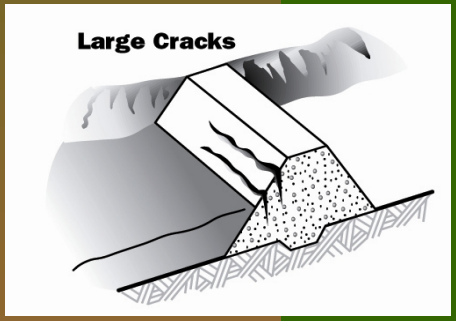
ข้อเสนอแนะ : .....

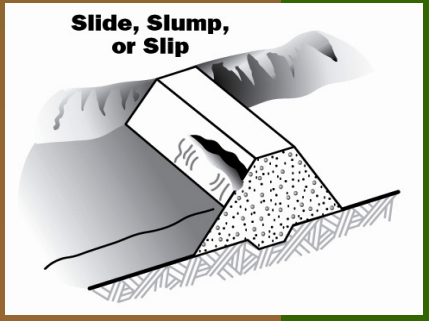
3. แนวทางการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาเขื่อน



ตัวอย่างแนวทางการตรวจสอบ-ลาดด้านเหนือเขื่อน







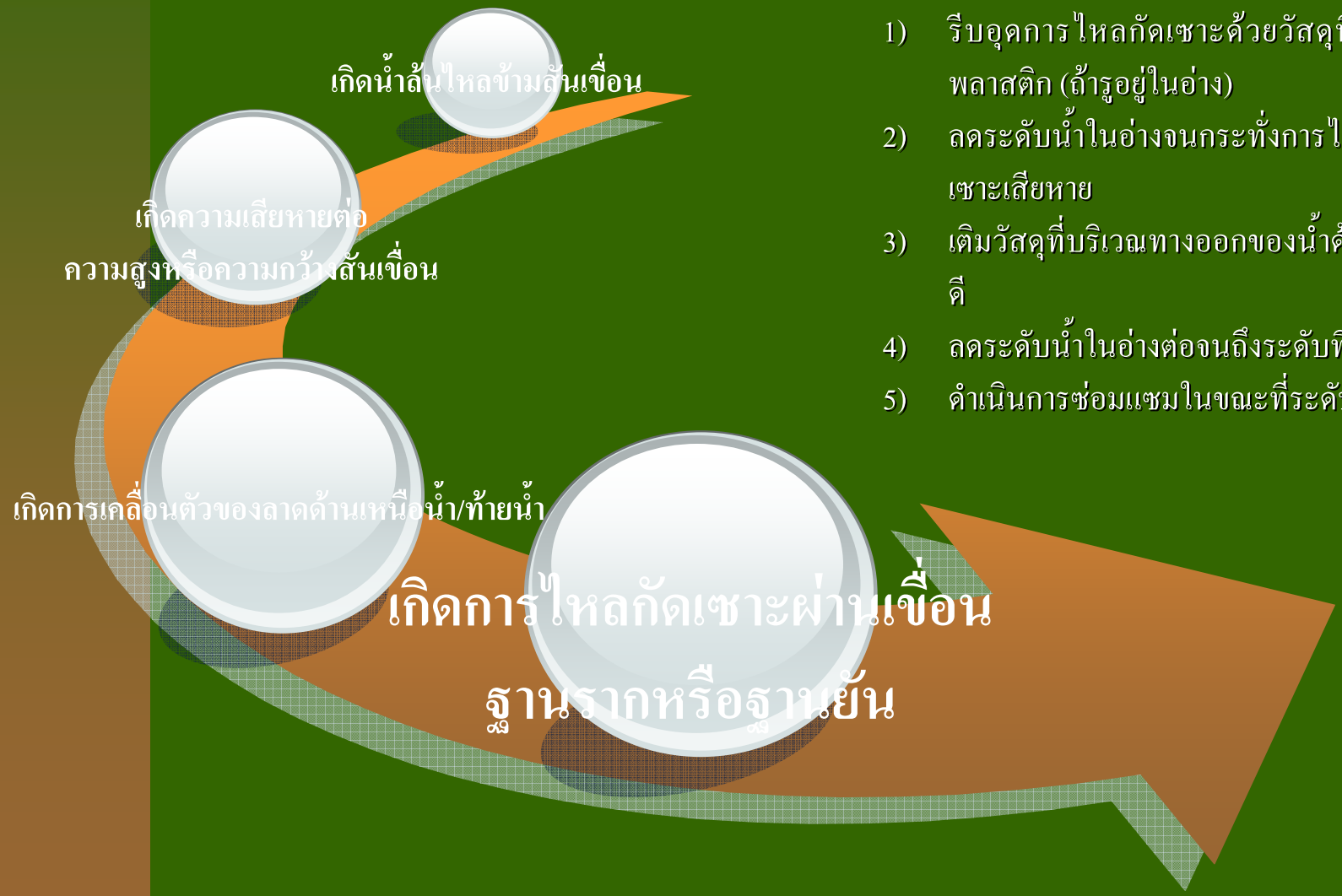
ปัญหา	สาเหตุและผลที่ตามมา	ข้อควรปฏิบัติ
เกิดหลุมถล่ม	เกิดการชะโพรง (piping) หรือการกัดเซาะ (erosion) วัสดุถมตัวเขื่อนพัดพาเอาเม็ดดินในตัวเขื่อนหรือฐานรากไปกับน้ำออกไปทางด้านท้ายน้ำและรอยรั่วตามแนวท่อส่งน้ำ ทำให้เกิดเป็นหลุมกลุ่มซึ่งจะขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นสาเหตุให้เขื่อนพังทลายได้ ความสกปรกของน้ำที่ซึมออกมาแสดงว่าเกิดการกัดเซาะตัวเขื่อนหรือฐานราก น้ำในอ่างฯจะไหลผ่านทางรูที่เกิดการชะโพรงนี้ เช่นเดียวกับการเกิดรอยรั่วตาม แนวท่อส่งน้ำหรือการกัดเซาะในชั้นทึบน้ำจะนำไปสู่การพิบัติของเขื่อนได้ ดินกระจายตัว (Dispersive soil) เมื่อถูกกับน้ำจะกระจายตัวได้ง่ายและรวดเร็วเกิดเป็นหลุมถล่มได้ง่าย	ตรวจสอบส่วนอื่นๆ ของตัวเขื่อนเพื่อหาการซึมน้ำ (Seepage) หรือการรั่วซึม (leakage) ที่พัดพาเอาตะกอนดินหลุดออกมาสังเกตได้จากความสกปรกหรือความขุ่นของน้ำ วิศวกรด้านความปลอดภัยเขื่อนตรวจสภาพหาสาเหตุของการเกิดรูโพรงนี้พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการปฏิบัติ อาจจำเป็น ต้องลดระดับน้ำในอ่างเพื่อตรวจหาตำแหน่งที่เกิดการชะโพรงนี้
เกิดรอยแตกขนาดใหญ่	เกิดการเคลื่อนตัวของวัสดุถมแยกส่วนที่ตัวเนื่องจากการสูญเสียกำลังรับแรงหรือฐานรากเคลื่อนตัวนำไปสู่การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อน การพิบัติของฐานรากเป็นสาเหตุของการเลื่อนถล่มของลาดเขื่อนหรือการทรุดตัว	ลดระดับน้ำในอ่าง วิศวกรด้านความปลอดภัยเขื่อนตรวจเช็คสภาพและให้คำแนะนำในการปฏิบัติ
เกิดการเลื่อนถล่มหรือการยุบตัว	ดินหรือหินเคลื่อนตัวลงตามลาดเนื่องจากมีความลาดชันสูงหรือฐานรากเคลื่อนตัว รวมทั้งสังเกตการเลื่อนไถลบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ ดินที่เลื่อนถล่มนี้อาจจะไปกีดขวางบริเวณทางเข้าอาคารรับน้ำ นำไปสู่การพิบัติของเขื่อนได้	ประเมินขอบเขตของการเลื่อนถล่มและติดตามผล ลดระดับน้ำในอ่างลงเพื่อลดแรงกระทำต่อตัวเขื่อน วิศวกรด้านควบคุมความปลอดภัยเขื่อน ตรวจเช็คสภาพและให้คำแนะนำในการปฏิบัติ

แผนปฏิบัติความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะไม่ปกติ

เกิดน้ำล้นไหลข้ามสันเขื่อน

1) เปิดประตูน้ำอาคารระบายน้ำลงลำน้ำเดิม ด้วยอัตราการระบายน้ำสูงสุด
2) เสริมถุงทรายตามแนวสันเขื่อนเพื่อเพิ่มความสูง Freeborad และเพื่อให้น้ำระบายออกทางอาคารระบายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำลงลำน้ำเดิม
3) ปูแผ่นพลาสติกหรือวัสดุกันซึมทางด้านลาดท้ายน้ำเพื่อป้องกันการกัดเซาะ
4) หาทางระบายน้ำทางอื่นรอบๆ อ่างเก็บน้ำ อาจจะเปิดทางระบายน้ำที่เขื่อนปิดช่องเขาต่ำเพื่อป้องกันน้ำล้นข้ามเขื่อนหลัก

แผนปฏิบัติความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะไม่ปกติ



1) รีบอุดการไหลกัดเซาะด้วยวัสดุที่หาได้ก่อน เช่น Bentonite แผ่นพลาสติก (ถ้ารูอยู่ในอ่าง)
2) ลดระดับน้ำในอ่างจนกระทั่งการไหลกัดเซาะลดลงจนไม่เกิดการกัดเซาะเสียหาย
3) เติมวัสดุที่บริเวณทางออกของน้ำด้วยทรายหรือกรวดที่ระบายน้ำได้ดี
4) ลดระดับน้ำในอ่างต่อจนถึงระดับที่ปลอดภัย
5) ดำเนินการซ่อมแซมในขณะที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับปลอดภัย

การจัดทำแผนเฝ้าระวังและเตือนภัย

1

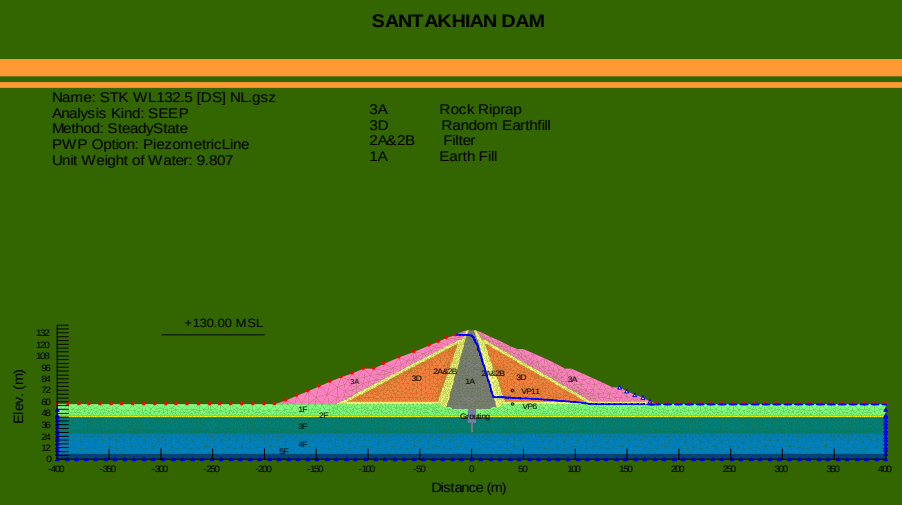
แผนการเฝ้าระวัง

2

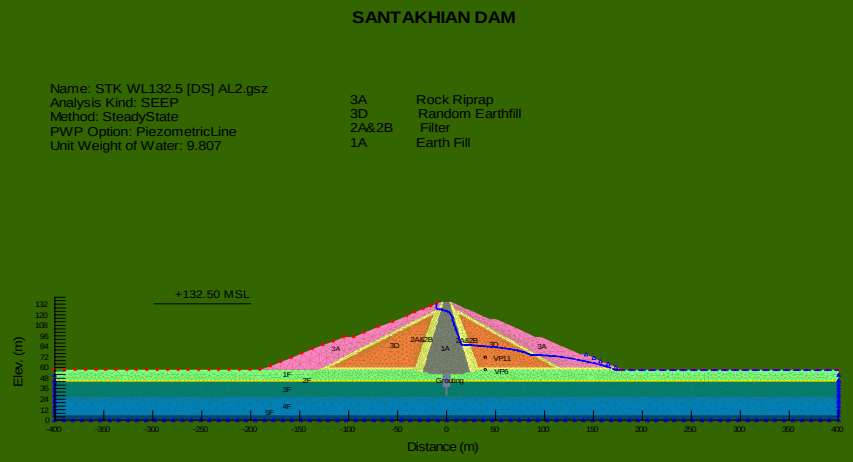
แผนป้องกันภัยฉุกเฉินเพื่อความปลอดภัยเขื่อน

การหาระดับเฝ้าระวังและระดับเตือนภัย

- ระดับปกติ (Normal Level) หาได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลซึมร่วมกับที่ระดับน้ำเก็บกัก +130.00 ม.รทก.
- ระดับเฝ้าระวัง (Warning Level) หาได้จากการลดประสิทธิภาพชั้นกรองในตัวเขื่อน (zone 2A&2B และชั้นฐานราก จนทำให้ Hydraulic Gradient ที่เกิดขึ้นบริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำเท่ากับ 0.8 หรือผลจากการวิเคราะห์เสถียรภาพมีอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.2
- ระดับแจ้งเตือนภัย (Aleart Level) หาได้จากการลดประสิทธิภาพชั้นกรองในตัวเขื่อน (zone 2A&2B และชั้นฐานราก จนทำให้ Hydraulic Gradient ที่เกิดขึ้นบริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำเท่ากับ 1 หรือผลจากการวิเคราะห์เสถียรภาพมีอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.1

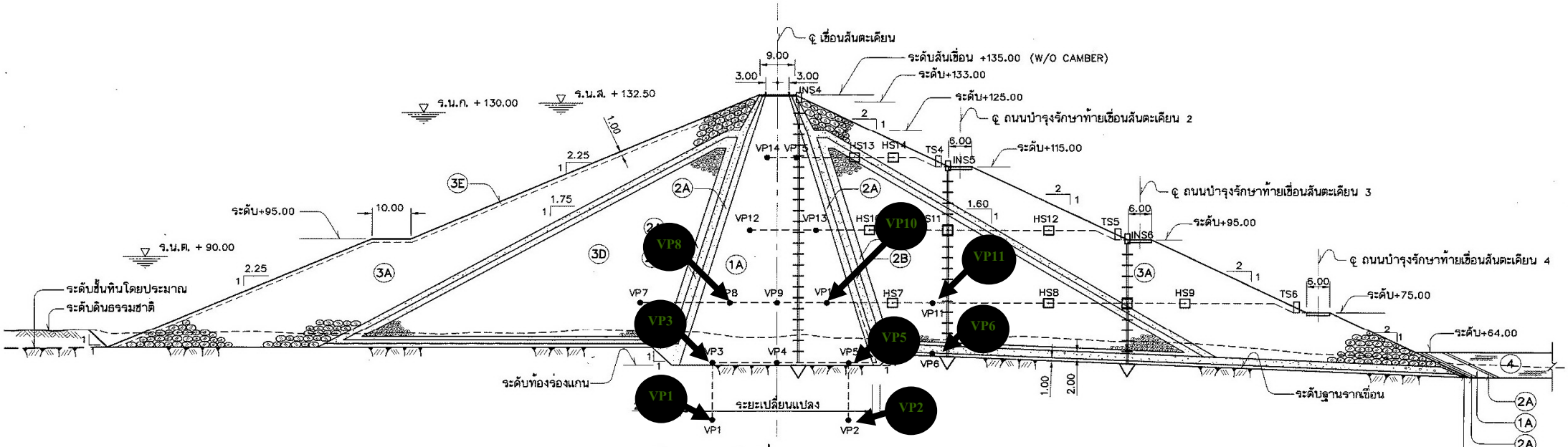


ผลการวิเคราะห์การไหลซึมสภาวะปกติ



ผลการวิเคราะห์การไหลซึมสภาวะไม่ปกติ

เครื่องมือวัดแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อนสันตะเคียน (VP)



รูปตัดขวางตัวเขื่อน กม. 0+580

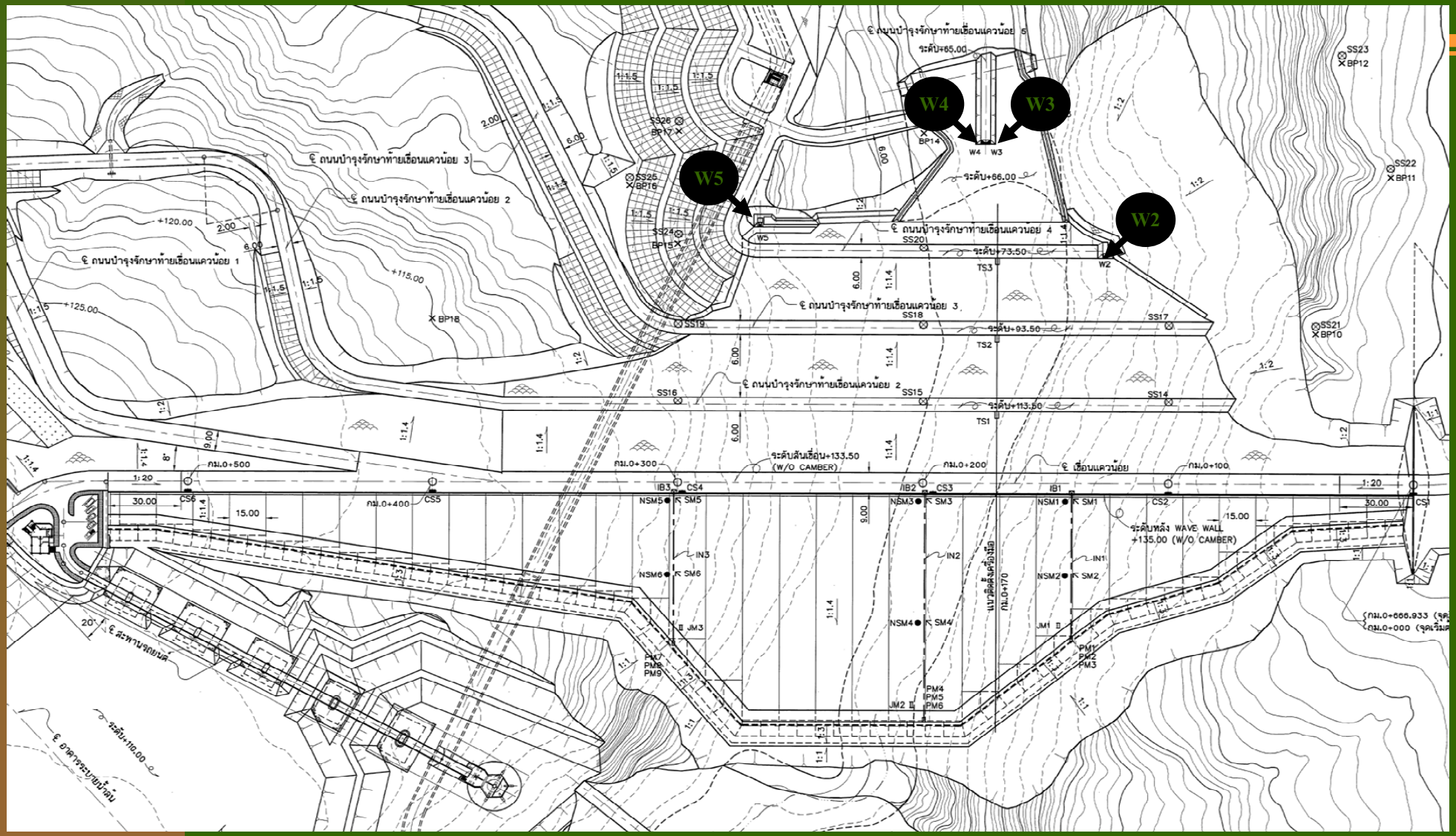
(แสดงการติดตั้ง เครื่องมือวัด)

มาตราส่วน 1:750

การเฝ้าระวังและเตือนภัย สำหรับเขื่อนสันตะเคียน

ระดับการเตือนภัย	ความแตกต่างของค่าแรงดันน้ำ (เมตร)	ลักษณะทางกายภาพของตัวเขื่อน
ม่านอัดฉีดน้ำปูน	**(VP1 – VP2)**	
ปกติ	20 ขึ้นไป	ไม่มีหรือมีน้ำใสไหลเพียงเล็กน้อย
เฝ้าระวัง	15 – 20	มีอัตราการไหลซึมของน้ำเพิ่มมากขึ้น พบน้ำขุ่นไหลออกจากตีนเขื่อน
แจ้งเตือนภัย	10 – 15	มีการรั่วน้ำรุนแรง พื้นที่ด้านท้ายน้ำพบ Boiling พบหลุมยุบที่สันเขื่อนหรือลาดเขื่อน
ฐานแกนดินเหนียว	**(VP3 – VP5)**	
ปกติ	30 ขึ้นไป	ไม่มีหรือมีน้ำใสไหลเพียงเล็กน้อย
เฝ้าระวัง	25 – 30	มีอัตราการไหลซึมของน้ำเพิ่มมากขึ้น มีน้ำพบน้ำขุ่นไหลออกจากตีนเขื่อน หรือ มีน้ำพบน้ำไหลวนบริเวณเหนือน้ำ
แจ้งเตือนภัย	น้อยกว่า 25	มีการรั่วน้ำรุนแรงที่ตีนเขื่อน พบหลุมยุบที่สันเขื่อนหรือลาดเขื่อน
แกนดินเหนียว	**(VP8 – VP10)**	
ปกติ	30 ขึ้นไป	ไม่มีหรือมีน้ำใสไหลเพียงเล็กน้อย
เฝ้าระวัง	25 – 30	มีอัตราการไหลซึมของน้ำเพิ่มมากขึ้น มีน้ำพบน้ำขุ่นไหลออกจากตีนเขื่อน หรือ พบน้ำไหลวนบริเวณเหนือน้ำ
แจ้งเตือนภัย	น้อยกว่า 25	มีการรั่วน้ำรุนแรงที่ตีนเขื่อน พบหลุมยุบที่สันเขื่อนหรือลาดเขื่อน
ชั้นวัสดุกรอง	**(VP6 –VP11)**	
ปกติ	2 – 5	ไม่น้ำใสไหลซึมที่ตีนเขื่อน
เฝ้าระวัง	5 – 8	มีอัตราการไหลซึมของน้ำลดลงมากขึ้น
แจ้งเตือนภัย	8 ขึ้นไป	ไม่มีไหลผ่านชั้นวัสดุกรอง ความดันน้ำในชั้นกรองเพิ่มขึ้นสูง

เครื่องมือวัดอัตราการไหลซึมของเขื่อนแควน้อย (W)



การเฝ้าระวังและเตือนภัย สำหรับเขื่อนแควน้อย

ระดับการเตือนภัย	ปริมาณน้ำที่ไหลซึมรวม (W2 + W3 + W4 + W5)	ลักษณะทางกายภาพของตัวเขื่อน
ปกติ	น้อยกว่า 50 ลิตรต่อวินาที	ไม่มีหรือมีน้ำใสไหลเพียงเล็กน้อย
เฝ้าระวัง	50 ถึง 100 ลิตรต่อวินาที	การรรั่วซึม มีอัตรารั่วซึมสูงในช่วงแรก หรือมีน้ำขุ่นแต่อัตราการไหลลดลงตามเวลา
แจ้งเตือนภัย	มากกว่า 100 ลิตรต่อวินาที (ไม่สามารถ self-healing)	ปริมาณน้ำรั่วซึมผ่าน W2 และ W5 จากฐานยันเขาฝั่งใดฝั่งหนึ่ง มากผิดปกติ ในขณะที่ W3 และ W4 บริเวณร่องน้ำเป็นปกติ หรือ พบหลุมยุบที่สันเขื่อน หรือ คอนกรีตดาดหน้าแตกร้าว
ระดับการเตือนภัย	**การทรุดตัวที่สันเขื่อน**	**ลักษณะทางกายภาพ**
แจ้งเตือนภัย	อัตราการทรุดตัวมากกว่า 0.5 มม.ต่อเดือน หรือ ค่าการทรุดตัวรวมมากกว่าร้อยละ 1 ของความสูงเขื่อน	หลุมยุบที่สันเขื่อน หรือ คอนกรีตดาดหน้าแตกร้าว

แผนป้องกันภัยฉุกเฉินเพื่อความปลอดภัยเขื่อน

ตัดตามรอยเส้นประ

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

ชื่อเขื่อน _____

ที่ตั้งเขื่อน _____

เอกสารฉบับนี้จัดเตรียมขึ้นสำหรับเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อน เพื่อแจ้งเตือนภัยกรณีเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติขึ้นกับเขื่อน

ลำดับของการปฏิบัติเพื่อ :

> ปกป้องชีวิต

> ปกป้องทรัพย์สิน

> ควบคุมความเสียหายต่อตัวเขื่อน

เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อนจะต้องคอยดูแลความปลอดภัยต่อตัวเขื่อน เพื่อไม่ให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียหายต่อสาธารณชนหรือสาธารณสมบัติ

เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อนรับผิดชอบในการเก็บรักษาเอกสารฉบับนี้

ปรับปรุงเมื่อ _____

เลือกหัวข้อที่เหมาะสมตามที่แสดงด้านล่างนี้และพลิกหาแผนภูมิ เพื่อปฏิบัติตามขั้นตอน

ข้อความสีดำ เพื่อใช้เป็นข้อมูล	ข้อความสีขาว เพื่อการตัดสินใจ	ข้อความสีแดง เพื่อการปฏิบัติ

PANYA CONSULTANTS CO.,LTD.

ตัดตามรอยเส้นประ

รายชื่อผู้ที่จะต้องติดต่อเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

■ ตำรวจ	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ กองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จ.พิษณุโลก	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ ที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยเขื่อน	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ นายช่างหัวหน้าโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแควน้อย	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ ผู้อำนวยการโครงการชลประทาน จ.พิษณุโลก	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ ผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ 3	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ หน่วยงานการปกครองส่วนท้องถิ่น	โทร.	_____	สำนักงาน
		_____	มือถือ
■ ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงด้านท้ายน้ำ	ชื่อ	_____	โทร. _____
	ชื่อ	_____	โทร. _____
	ชื่อ	_____	โทร. _____
	ชื่อ	_____	โทร. _____

เจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อนจะต้องติดต่อทันทีเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน และรายงานเป็นระยะๆ เมื่อสถานการณ์เปลี่ยนแปลง

PANYA CONSULTANTS CO.,LTD.

แผนป้องกันภัยฉุกเฉินเพื่อความปลอดภัยเขื่อน

ตัดตามรอยเส้นประ

เหตุการณ์และ/หรือสถานการณ์ฉุกเฉิน

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน
เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

เหตุการณ์

ฝนตกหนัก/น้ำหลาก – เกิดพายุฝน – แผ่นดินไหว – อื่นๆ

สถานการณ์ฉุกเฉิน

น้ำล้นข้ามสันเขื่อน, คลื่นซัดขอบอ่าง, รอยแตก, ลื่นไถล, โครงสร้างเสียหาย, เลื่อนถล่ม
ทรุดตัว, รั่วซึม, เซาะโพรง, ทรายเดือด, สัญญาณหรือพฤติกรรมผิดปกติอื่นๆ

เตรียมพร้อมและเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิดสำหรับเหตุการณ์ความรุนแรงที่เกิดขึ้น
หรือรับรู้พฤติกรรมผิดปกติที่เกิดขึ้นกับตัวเขื่อน

เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการบำรุงรักษาให้พร้อมตลอดเวลาในระหว่างเกิดเหตุการณ์

พลิกหาแผนภูมิกรณีสถานการณ์ฉุกเฉินต่างๆ โดยถือเป็นกรอบปฏิบัติอย่างเคร่งครัด

เหตุการณ์และ/หรือสถานการณ์ฉุกเฉิน

PANYA CONSULTANTS CO.,LTD.

ตัดตามรอยเส้นประ

โครงสร้างสำคัญเสียหาย

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน
เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

ทำการตรวจเช็คตามกำหนดอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัว
การลื่นไถล การกัดเซาะภายในหรือนอกตัวเขื่อน

พบสัญญาณบ่งบอกถึงการนำไปสู่การพิบัติของเขื่อน ใช่หรือไม่?
*ถ้าไม่แน่ใจให้แจ้งผู้ที่เกี่ยวข้องโดยด่วน ต้องระลึกเสมอว่า เมื่อเกิดสัญญาณเตือนเพียงครั้งเดียว
อาจนำไปสู่ความพิบัติอย่างรวดเร็ว

ใช่

ประเมินขอบเขตความเสียหายและ
เตรียมแผนรับสถานการณ์ฉุกเฉิน
กรณีไม่สามารถควบคุมการระบายน้ำได้

ไม่ใช่

บันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ที่ควบคุมได้ไว้ทั้งหมด

ติดต่อโดยด่วนไปยัง ตำรวจ, กองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย,
ที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยเขื่อน, หน่วยงานการปกครองส่วนท้องถิ่น ตามรายชื่อผู้ที่จะต้องติดต่อ

บันทึกเหตุการณ์ (ช่วงเวลา บันทึกภาพ รายละเอียด บันทึกวีดีโอ บันทึกการติดต่อสื่อสาร)

ความเสียหายเริ่มต้นจะถูกจำกัดถ้าปฏิบัติได้ดังนี้

โครงสร้างสำคัญเสียหาย

PANYA CONSULTANTS CO.,LTD.

แผนป้องกันภัยฉุกเฉินเพื่อความปลอดภัยเขื่อน

ตัดตามรอยเส้นประ

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน
เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

หน้าที่ความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อน

ความรับผิดชอบ
- เฝ้าระวัง และติดตามตรวจสอบสภาพของเขื่อนตามปกติ
- แจ้งเตือนภัยไปยังผู้เกี่ยวข้อง
- เตรียมการป้องกัน และให้ข้อมูลกับผู้เกี่ยวข้องในกรณีเร่งด่วน แจ้งเตือนและอพยพผู้คน

สถานภาพด้านความปลอดภัยเขื่อน
- ควบคุมการประเมินสภาพความปลอดภัยของเขื่อน และระบุความบกพร่องของเขื่อน
- กำหนดขั้นตอนเพื่อลดความเสี่ยงการพิบัติของเขื่อนบนพื้นฐานของการประเมินความปลอดภัย ตลอดจนขั้นตอนการติดตามตรวจสอบที่เหมาะสม

การตรวจพบเหตุการณ์
- ติดตามตรวจสอบเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน จะเป็นตัวชี้บอกหากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ
- สถานการณ์ฉุกเฉินที่จะเกิดกับเขื่อนสามารถตรวจพบในเบื้องต้นได้จากการสังเกตด้วยสายตาในบริเวณที่เกิดเหตุ

การตัดสินใจ
- จัดการด้านความปลอดภัยเขื่อนให้เหมาะสม และเป็นไปตามการให้คำปรึกษาของที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยเขื่อน มีอำนาจสั่งการในการดำเนินการซ่อมแซมทันที
- มีอำนาจสั่งการตามแผนป้องกันภัยฉุกเฉินสำหรับชุมชน การซ่อมแซมโดยการจัดหาเครื่องมือ วัสดุ และคนงานรวมทั้งผู้เชี่ยวชาญ ต้องเตรียมการหาแหล่งวัสดุ และอุปกรณ์ให้พร้อม เช่น แหล่งดิน ทราย กรวด หิน หินเรียง ถุงทราย ปูนซีเมนต์ แผ่นพลาสติก และอื่นๆ

การแจ้งเตือน
- การแจ้งเตือนปัญหาที่อาจมีผลทำให้เขื่อนไม่ปลอดภัย ควรแจ้งเตือนไปตามรายชื่อผู้ที่จะต้องติดต่อ
- หากสถานการณ์ฉุกเฉินรุนแรงขึ้น ต้องรายงานสถานภาพของเขื่อนตามขั้นตอนในแผนป้องกันภัยฉุกเฉินสำหรับชุมชน

การติดต่อสื่อสาร
- ติดต่อโดยทางโทรศัพท์ที่ติดตั้งที่เขื่อนหรือโทรศัพท์ติดตามตัว หมายเลข : .....
  โทรศัพท์สาธารณะที่ใกล้ที่สุดอยู่ที่ .....
  วิทยุสื่อสาร มีหรือไม่ : .....

หน้าที่ความรับผิดชอบของเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเขื่อน PANYA CONSULTANTS CO.,LTD

ตัดตามรอยเส้นประ

แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน
เพื่อความปลอดภัยเขื่อน

แผนควบคุมความเสียหาย

ประเมินความเสียหายเนื่องจากจุดบกพร่องของเขื่อนที่ต้องควบคุม
จากผลของ พายุฝน, น้ำหลาก, แผ่นดินไหว, หรือเหตุการณ์อื่นๆ

ต้องการการแจ้งเตือน ใช่หรือไม่?*
*ถ้าไม่สามารถซ่อมแซมแก้ไขให้ปลอดภัยได้ ให้ติดต่อโดยด่วนไปยังผู้ที่เกี่ยวข้อง ต้องระลึกเสมอว่า เมื่อเกิดสัญญาณเตือนเพียงครั้งเดียว อาจนำไปสู่ความพิบัติอย่างรวดเร็ว

ใช่ → ประกาศใช้แผนป้องกันภัยฉุกเฉิน

ไม่ใช่ → เลือกติดต่อบุคลากร, โรงเก็บเครื่องมือและวัสดุ จากรายชื่อด้านล่างเพื่อซ่อมแซม

บุคลากร	เครื่องมือ	วัสดุ
ที่ปรึกษาด้านความปลอดภัยเขื่อน ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____	**เครื่องมือ** ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____	**ดินเหนียว** ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____
คนงาน ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____	**โรงเก็บเครื่องมือ** ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____	**ทราย, กรวด, หิน** ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____
	อื่นๆ ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____	**แผ่นพลาสติก, ถุงทราย** ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____
		อื่นๆ ชื่อ _____ เบอร์โทร _____ ที่อยู่ _____

แผนควบคุมความเสียหาย PANYA CONSULTANTS CO.,LTD

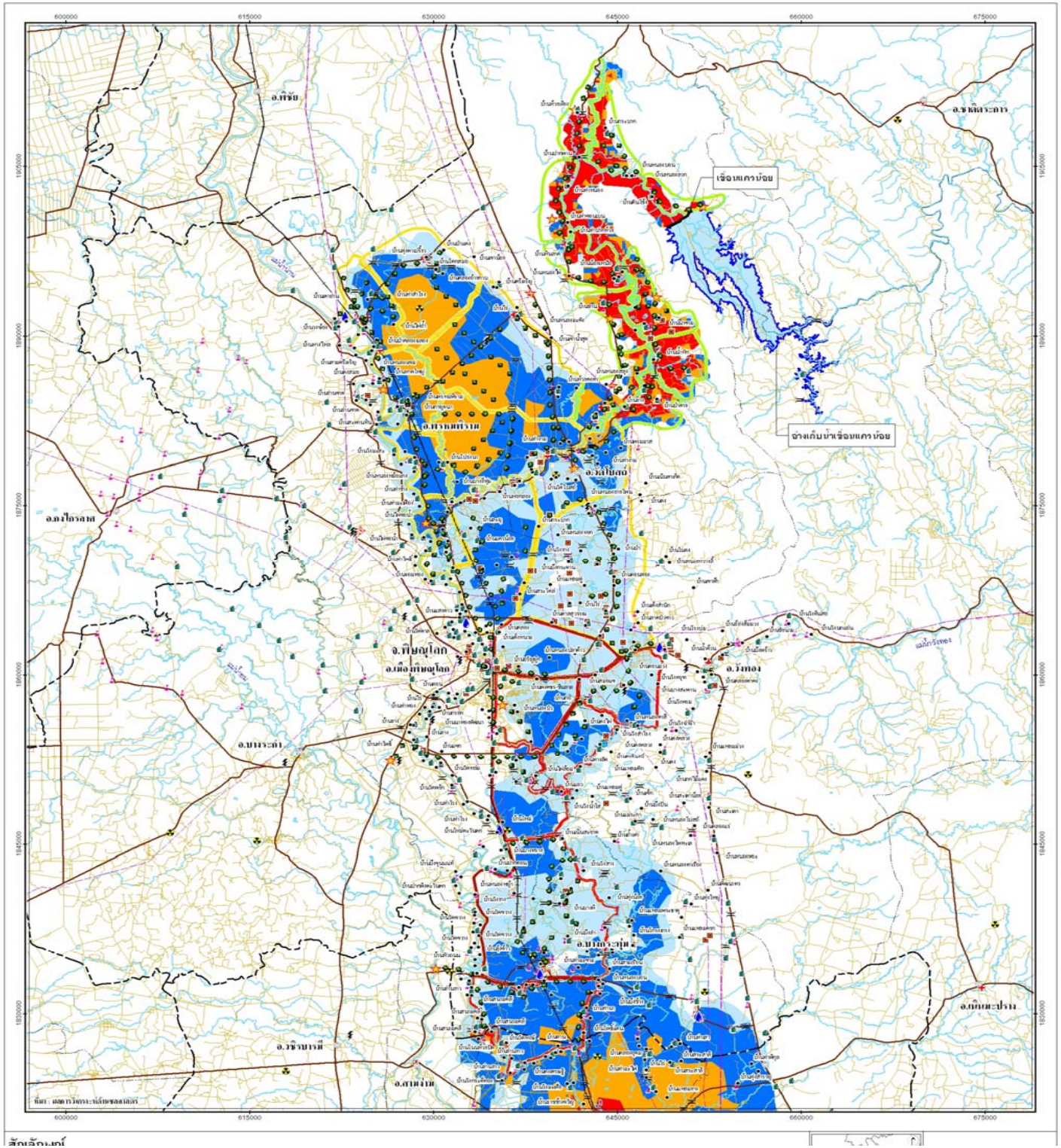
การศึกษา Dam Break

- ศึกษารูปแบบการพิบัติของเขื่อน และหาความน่าจะเป็นในการเกิดการพิบัติ
- หาพื้นที่น้ำท่วมในกรณีพิบัติต่างๆ รวมทั้งกรณีเกิดอุทกภัย
- ประเมินความเสียหายในกรณีต่างๆ เพื่อประเมินความเสี่ยง
- สร้างแผนที่น้ำท่วม และจัดทำแผนอพยพ
- จัดทำแผนฟื้นฟูหลังน้ำลด

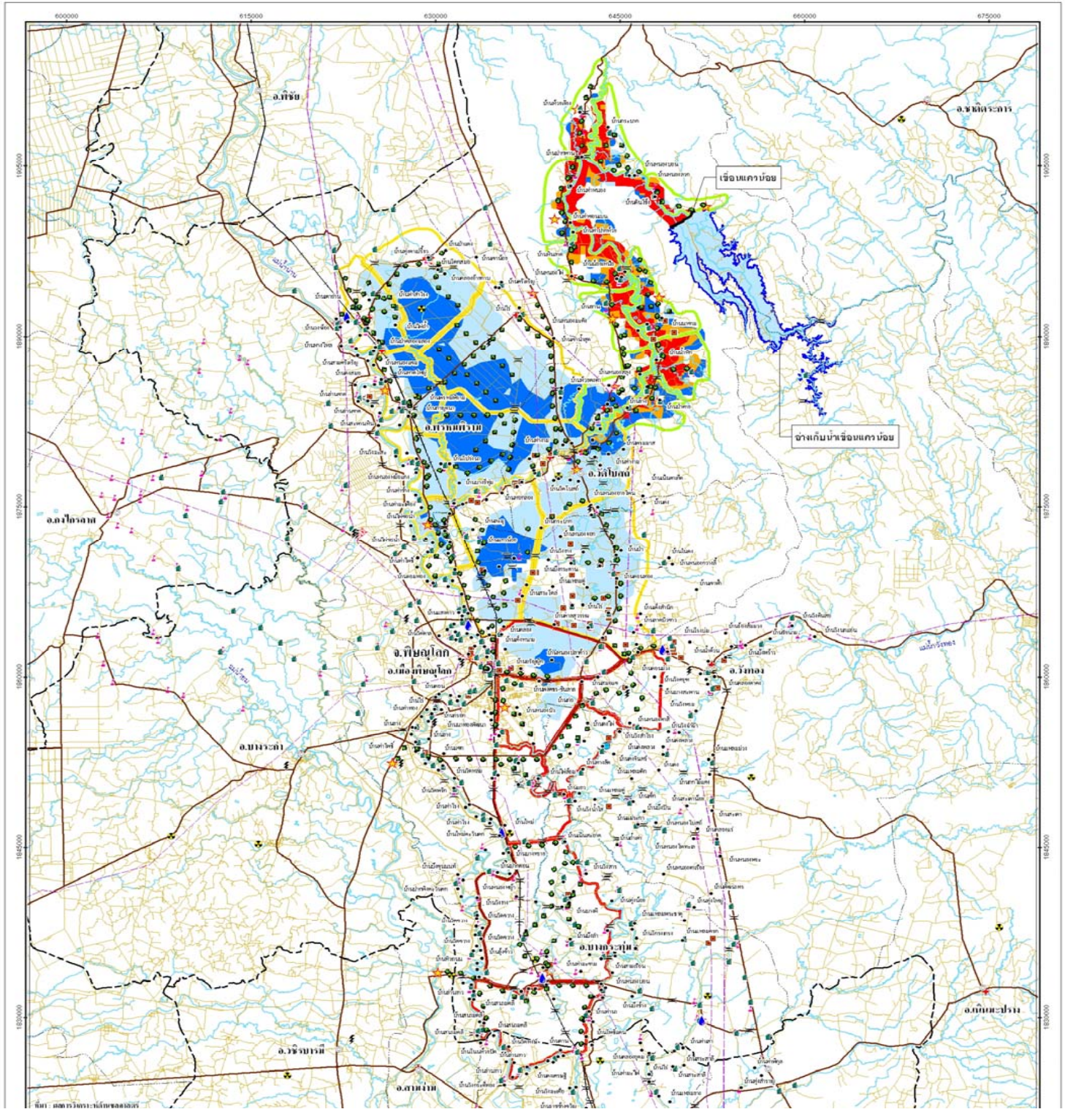
แผนที่น้ำท่วม

- กรณีฝนตกหนักและเขื่อนพิบัติ : เป็นกรณีที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด คือ มีโอกาสการเกิดความเสียหายสูงที่สุด ในกรณีที่เกิดฝนตกหนักดูผลการวิเคราะห์แผนที่น้ำท่วมกรณีนี้
- กรณีฝนไม่ตกแต่เขื่อนพิบัติ : เป็นกรณีที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดในกรณีที่ฝนไม่ตก
- กรณีเขื่อนระบายน้ำเป็นปริมาณมาก : เป็นกรณีที่เขื่อนแควน้อยระบายน้ำออกจากเขื่อนอย่างเร่งด่วนทันทีทันใด และระบายจนเต็มความสามารถของอาคารระบายน้ำล้น

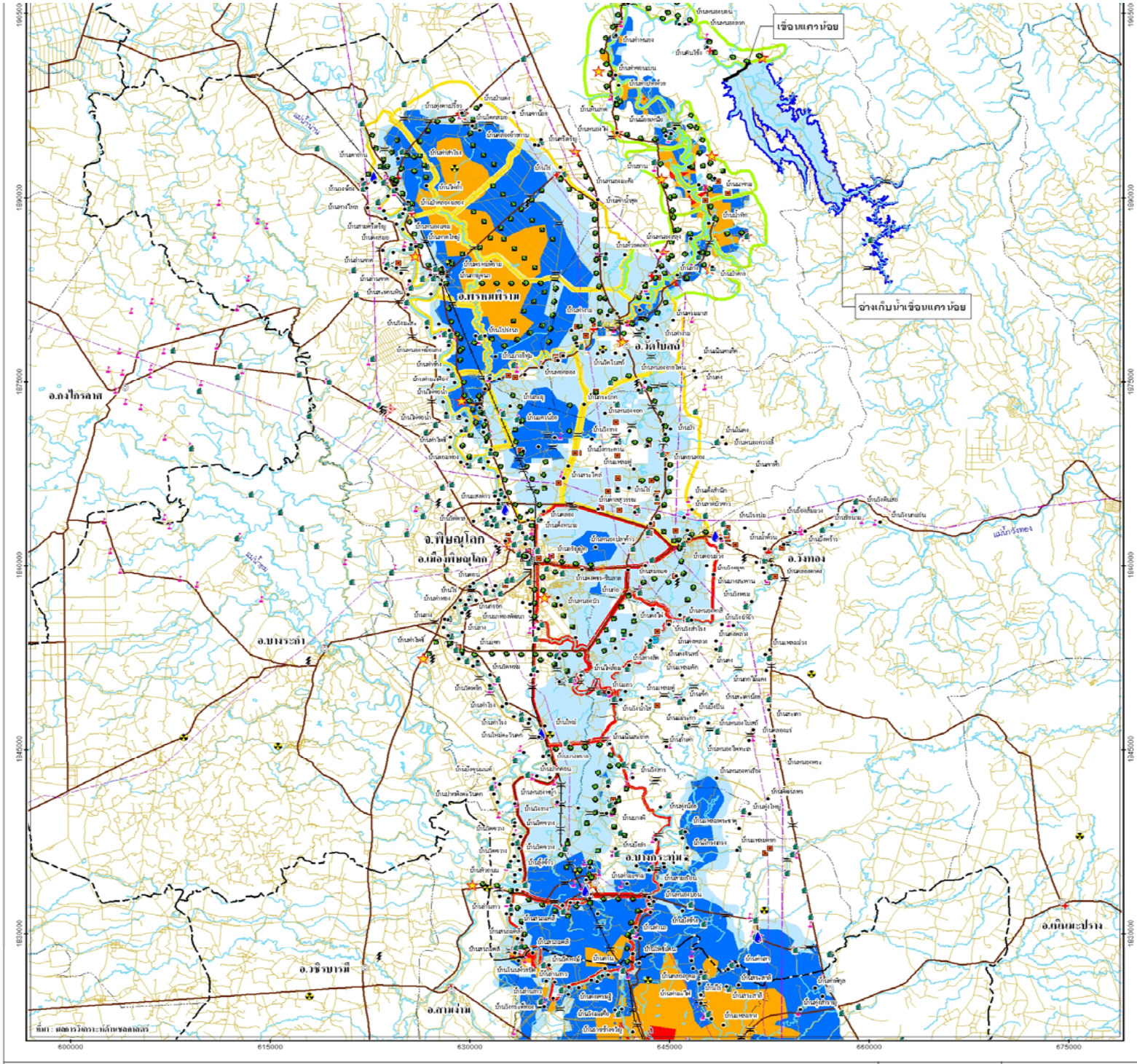
กรณีฝนตกหนักและเขื่อนพิบัติ



กรณีฝนไม่ตก แต่เขื่อนพิบัติ



กรณีเขื่อนระบายน้ำเป็นปริมาณมาก



สัญลักษณ์

ที่ตั้งจังหวัด
ที่ตั้งอำเภอ
ถนนลาดยาง
ลายสายไฟฟ้าแรงสูง
ที่ตั้งวัด
โรงพยาบาลและสถานีอนามัย
ที่ตั้งสถานีตำรวจ
ที่ตั้งสะพาน
ลวดเส้น
มากกว่า 5 เมตร

สรุป

หลักประกันความปลอดภัยเขื่อนขึ้นกับทั้ง 3 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการสำรวจออกแบบ
   - มีข้อมูลเพียงพอ
   - ใช้วิธีการออกแบบที่ยอมรับในสากลและทันสมัย
2. ขั้นตอนการก่อสร้าง
   - ใช้วัสดุและก่อสร้างอย่างถูกต้อง
   - ควบคุมคุณภาพ
3. ขั้นตอนการใช้งานและบำรุงรักษา
   - ตรวจสภาพเขื่อนทั้งในสภาวะปกติและไม่ปกติ
   - มีแผนปฏิบัติการในกรณีฉุกเฉิน
   - มีการศึกษา Dam Break และจัดทำแผนการเตือนภัยและอพยพ

จบการนำเสนอ