



महाराष्ट्र शासन

पानशेत आणि खडकवासला धरणफुटीच्या
चौकशीकरिता नेमलेल्या
चौकशी कमिशनचा

अहवाल

भाग १

१९६३

शासकीय मध्यवर्ती मुद्रणालय
मुंबई

पानशेत आणि खडकवासला धरणफुटीच्या
चौकशीकरिता नेमलेल्या
चौकशी कमिशनचा

अहवाल

भाग १

भाग १

अनुक्रमणिका

निर्दिष्ट विषयसूचीतील पहिला विषय

उपभाग क्रमांक		पृष्ठ
	प्रास्ताविक	१
१	निर्दिष्ट विषयसूचीचे स्वरूप व तिची व्याप्ती	११
२	खडकवासला घरण व खडकवासला प्रकल्प यांचा संक्षिप्त इतिहास	१२
३	पानशेत येथे मातीचे घरण बांधण्याविषयीचा प्रस्ताव योग्य होता काय?	२२
४	पाटबंधारे विभागाची पुनर्रचना	३३
५	बांधणीविषयक कार्यक्रम आणि पानशेत घरणाचे काम पूर्ण करण्याच्या कालावधीत कपात	३५
६	पानशेत घरण बांधण्याचे काम तातडीने पूर्ण करण्याच्या निर्णयासंबंधीच्या प्रश्नाविषयी कमिशनच्या वकिलाचा दृष्टिकोन	७३
७	बांधकामाचा कार्यक्रम—तो कितपत अनुसरण्यात आला व अनुसरण्यात न आल्यामुळे परिणाम काय झाला ?	७७
८	ठरविलेल्या तारखा पाळण्यात आल्या नाहीत	८६
९	दरवाजे व अंतर्गत भाग (एम्बेडेड पार्ट्स) तयार करणे व त्यांची उभारणी करणे यासंबंधीची दिरंगाई	९७
१०	पुनर्विलोकन करावयास हवे होते काय आणि असल्यास, केव्हा ?	१०३
११	दापोडी कर्मशालेमध्ये झालेली दरवाजांची बनावट, त्यांची उभारणी व तिचे परिणाम	१२२
१२	पानशेत घरणाच्या अपुऱ्या बाबी	१३३
१३	संकल्पचित्रातील फेरबदल—त्यामुळे घरणाच्या सुरक्षिततेस बाध आला काय ?	१३४
१४	आराखड्यासंबंधीची बाजू	१३५
१५	निर्गमद्वाराच्या बांधकामासंबंधीचे प्रश्न मार्गदर्शनासाठी संशोधन केंद्राकडे पाठविण्याची गरज	१४०
१६	पानशेत व खडकवासला घरणे कोसळण्याची कारणे	१४९
१७	जमीन खचण्याचे स्वरूप	१५३
१८	प्रतिकृतीचा अभ्यास	१५६
१९	जलशास्त्रीय प्रतिकृतीवरील प्रयोग	१५७
२०	घरण फुटण्याची कारणे	१६५
२१	पानशेत घरण फुटण्याबद्दल स्पष्टीकरण म्हणून अनेक इंजिनियरांनी मांडलेले सिद्धांत	१६८

उपभाग क्रमांक		पृष्ठ
२२	द्विवर कंपनीचा सिद्धांत	१९४
२३	कमानीचे बांधकाम पडण्यामागचा सिद्धांत	२२७
२४	सदोप बांधकामामुळे घरण कोसळण्याबाबतचा दुसरा सिद्धांत	२४४
२५	पायपिंग	२५०
२६	पानशेत घरण फुटण्याच्या कारणाबद्दलची माझी वैयक्तिक मते	२५४
२७	खडकवासला घरण फुटले	२५६
२८	असेसरांचे मत	२५८
२९	ऋण निर्देश	२५९
३०	निष्कर्ष	२६१
३१	शिकण्यासारखे घडे	२६२

असेसरांचे मत

	बाब	पृष्ठ क्रमांक	परिच्छेद क्रमांक
१	प्रास्ताविक	२६७	१
२	सर्वसाधारण वैशिष्ट्ये	२६७	२
३	बांधकामाचे मूळ वेळापत्रक	२६८	३
४	बांधकामाच्या वेळापत्रकात सुधारणा आणि कामाची प्रगती	२६९	४-६
५	जलाशय जलद गतीने भरणे आणि अपूर्ण राहिलेली बांधकामे	२७२	७-९
६	घरणाचे अखेरचे दिवस—		
	(१) लाटांनी झालेली धूप	२७४	१०
	(२) काँड्यूटवर मधूनमधून पडत असलेला दाव	२७४	११
	(३) प्रवाहाच्या खालच्या बाजूकडील टोमधून पाण्याची गळती	२७५	१२
	(४) प्रवाहाच्या वरील बाजूस गाळ साचणे व भेगा पडणे	२७५	१३
	(५) जमीन खचणे आणि दुरुस्तीचे काम	२७५	१४
	(६) हार्টিंग आणि प्रवाहाच्या खालील बाजूचा भाग	२७६	१५
	(७) पाण्याची पातळी घरणाच्या भितीच्या उंचीपेक्षा जास्त होणे	२७६	१६

	बाब	पृष्ठ क्रमांक	परिच्छेद क्रमांक
७.	वरणफुटीनंतर दृष्टोत्पत्तीस आलेल्या बाबी—		
	(१) काँडचूटची कमान	२७६	१७.०१
	(२) ज्यावर कमान झुलती राहते असे भितीचे पुढे आलेले भाग (अँबटमेंटस्)	२७६	१७.०२
	(३) सांध्यामधून पाण्याची गळती	२७७	१७.०३
	(४) धरणाचा राहिलेला भाग	२७७	१७.०४
	(५) दरवाजाच्या सस्पेंशनची स्थिती आणि बांधकामाचे झालेले नुकसान	२७७	१७.०५
	(६) प्रतिक्रतीचा अभ्यास	२७८	१८
८.	पाणी साठविण्यासाठी मातीची धरणे बांधण्याची इष्टानिष्टता	२८०	१९.२२
९.	मातीची धरणे फुटण्याची संभाव्य कारणे	२८१	२३.२४
१०.	कोणत्याही स्वीकारार्ह अशा सिद्धांतानुसार पानशेत धरण कोसळण्याच्या कारणासंबंधी स्पष्ट करावयाची वस्तुस्थिती	२८२	२५.२९
११.	पानशेत धरण कोसळण्याच्या कारणासंबंधीचे सिद्धांत आणि दृष्टिकोन	२८४	३०
	(१) पार्यापिग	२८४	३१.०१-३१.०३
	(२) पाणी वाहून जाण्यासाठी अपुरी उत्प्लव मार्गक्षमता	२८५	३१.०४-३१.०६
	(३) सुरक्षिततेच्या अपुऱ्या व्यवस्थेमुळे प्रवाहाच्या वरच्या बाजूकडील उतरण कोसळणे	२८५	३१.०७-३१.१०
	(४) बांधान्याच्या वजनामुळे पडलेल्या जादा ताणामुळे काँडचूटची कमान कोसळणे	२८६	३१.११
	(५) जलद्वार नियंत्रक साधनसामग्रीच्या दोषपूर्ण कार्यामुळे निर्माण झालेल्या विवरामुळे किंवा कंपनामुळे प्रवाहाच्या वरच्या बाजूचा गिलावा पडणे किंवा एकत्र जमणे	२८६	३१.१२-३१.२२
	(६) काँडचूटमधून वाहणाऱ्या पाण्याच्या प्रवाहाची प्रतिकूल प्ररिस्थिती असल्यामुळे काँडचूटमध्ये बांधान्याच्या सामग्रीची झालेली हानी	२८८	३१.२३-३१.२७
	(७) अपुरा जलमुक्त भाग	२९०	३१.२८-३१.३१
	(८) धरण व इतर आनुषंगिक कामे अपुरी राहणे	२९१	३१.३२-३१.३३
१२.	धरण फुटण्याची क्रिया आणि त्याची कारणे याविषयीचे असेसरांचे मत	२९१	३२.००-३२.०४
१३.	खडकवासला धरण फुटणे	२९४	३३.००
	(१) धरण	२९४	३३.०१
	(२) स्थैर्य पथकरण	२९४	३३.०२-३३.०५

	बाब	पृष्ठ क्रमांक	परिच्छेद क्रमांक
	(३) फोटो इलॅस्टिक (प्रकाश स्थितिवाचक) घाचण्या	२९६	३३.०६-३३.०७
	(४) घरणफुटीची तांत्रिक प्रक्रिया	२९७	३३.०८
१४	समीक्षा आणि निष्कर्ष-	२९७	३४.००
	(१) बांधकामाची वेळ अगोदर घेणे	२९७	३४.००
	(२) काँड्यूटमधील पाण्याच्या प्रवाहाच्या प्रतिकूलतेचा अंदाज आधी घेता येणे शक्य होते काय ?	२९८	३४.०५-३४.०७
	(३) हवामानाची प्रतिकूलता	२९९	३४.०८
	(४) उद्दिष्टांच्या तुलनेत संपादनातील उणिवा लक्षात घेता बांधकाम बंद करण्या-विषयीचा निर्णय समर्थनीय होता काय ?	३००	३४.०९-३४.२०
	(५) अपूर्णतेमुळे मातीच्या घरणाची भेद्यता	३०२	३४.२१-३४.२७
	(६) पुरेसा कर्मचारीवर्ग	३०३	३४.२८-३४.३३
१५	शिफारशी-	३०५	३५.००-३५.०१
	(१) धोरण	३०५	३५.०१(अ) ते (ड)
	(२) संघटना	३०६	३५.०१(अ) ते (ड)
	(३) संकल्पचित्र	३०६	३५.०१(अ) ते (एल्)
	(४) बांधकाम	३०८	३५.०१(अ) ते (फ)

परिशिष्टांची सूची

परिशिष्ट	वर्णन	पृष्ठ
१	पानशेत धरण विभागाच्या भक्कमपणाचे पृथक्करण	३०९
२	तात्पुरत्या वेस्ट विअर विभागातील काँड्यूट वरील भाराचे मूल्यमापन व कमानाच्या फासळ्यावरील दाबांचा हिशोब	३११
३	पुस्तकांतून घेतलेले संबंधित उतारे-	
	(१) फुटलेल्या मातीच्या घरणांची यादी	३२१
	(२) उल्लव मार्गाच्या पुराच्या संकल्प-चित्रांचा निकष.	
	(३) काँड्यूटवरील भाराच्या संकल्प-चित्रांचा निकष.	
	(४) काँड्यूटभोवती कॉलसंची तरतूद करण्याचा निकष.	
	(५) काँड्यूटभोवतीच्या सामग्रीची टेशन आणि सधनता.	
	(६) अबेटमेंट मॅपकं सुधारण्याचा निकष.	

प्लेट्सची सूची

- प्लेट क्र. १ १९५८, १९५९, १९६० आणि १९६१ या वर्षातील पानशेत धरण येथील संकलित पर्जन्यमान दर्शविणारा आलेख.
- प्लेट क्र. २ १० जून १९६१ ते १२ जुलै १९६१ पर्यंतच्या धरणाच्या पातळ्या आणि धरणाच्या अखेरच्या दिवसातील घटनांचे क्रम तारीखवार दर्शविणारा आलेख.
- प्लेट क्र. ३ अपूर्ण धरण भागाचा तपशील आणि धरणफुटीनंतर कंट्रोल टॉवर आणि कांडचूट यांना झालेल्या हानीचा तपशील दर्शविणारा आलेख.
- प्लेट क्र. ४ ११ जुलै १९६१ रोजी दिसलेल्या, तात्पुरत्या वेस्ट विअर भागात पडलेल्या भेगा आणि धरणाची खच दर्शविणारा आलेख.
- प्लेट क्र. ५ धरणाच्या पातळीवरून पाणी वाहू लागल्यानंतर तात्पुरत्या वेस्ट विअरच्या भागात धरणाच्या तलोच्छेदनाचा क्रम दर्शविणारी छायाचित्रे.
- प्लेट क्र. ६ नियंत्रण मनोरा व कांडचूट यामधील विवर-निर्मितीमुळे झालेली हानी दर्शविणारी छायाचित्रे.
- प्लेट क्र. ७ जलशास्त्रीय प्रतिकृतीमधील प्रवाहाची स्थिती दर्शविणारे छायाचित्र.
- प्लेट क्र. ८ जलशास्त्रीय प्रतिकृतीमधील पाण्याच्या उसळीचे नमुनेवजा पाश्र्वरूप दर्शविणारे छायाचित्र.
- प्लेट क्र. ९ जलाशय आर्.एल. २०६७.५० वरील वॉटर प्रोफाईल आणि कांडचूट कमानीवरील पायझोमीटर लोकेशन दर्शविणारा आलेख.
- प्लेट क्र. १० स्लिप सर्कल पद्धतीने पानशेत धरणाच्या मजबुतीचे विश्लेषण करणारा आलेख.
- प्लेट क्र. ११ वेज पद्धतीने पानशेत धरणाच्या मजबुतीचे विश्लेषण करणारा आलेख.

प्रास्ताविक

१२ जुलै १९६१ ची पहाट उजाडली आणि पानशेत येथे नव्यानेच बांधलेल्या मातीच्या धरणाच्या विनाशाची नांदी सुरू झाल्याचे दृश्य दिसले. हे धरण पुण्याहून २२ मैलांवर आहे. दुर्दैवाचा योगायोग असा की (म्हणजे आम्हांला जे कळले त्यावरून), पुण्यातील उच्चतम नागरी प्राधिकारी असलेले (Authority) विभागीय कमिशनर, यांना इंजिनियरानी असा दिलासा दिला होता की, जर दिनांक ११ आणि १२ जुलै यांच्यामधील रात्र निर्विघ्नपणे पार पडली तर ते धरण सुरक्षित राहील. ती रात्र पार पडली आणि तरीही १२ जुलैचा दिवस उजाडतो न उजाडतो तोच पानशेत धरण कोसळायला सुरवात झाली. दुर्दैवाचा आणखी एक योगायोग असा की, ज्या वेळी धरण कोसळू लागले होते, जवळ जवळ नेमक्या त्याच वेळी विभागीय कमिशनर, श्री. मोहिते हे मुंबईच्या वाटेवर होते. पानशेत धरणाच्या बाबतीत सर्व काही ठीक आहे अशी जी माहिती (त्या माहितीची सत्यता आणि विश्वसनीयता यांची चर्चा पुढे करण्यात येईल) मिळाली तीवर विश्वास ठेवून श्री. मोहिते यांनी १२ जुलै १९६१ रोजी सकाळच्या गाडीने मुंबईस जावयाचा निर्णय घेतला असावा अशी कल्पना आहे. पानशेत धरणाच्या बाबतीत सर्व काही ठीक असल्याच्या ज्या बातमीवर मोहिते यांनी चटकन विश्वास ठेवला ती बातमी अशा वेळी येत होती की, नेमके त्याच वेळी पानशेत धरण तुडुंब भरून वाहून जाण्याच्या बेतात होते किंवा आधीच वाहू लागले होते. या दुर्दैवी योगायोगाबरोबरच दोन चांगल्या आणि शुभ घटना घडून आल्या. यातील पहिली, त्या रात्री पानशेत धरण कोसळले नाही ही. त्या रात्री जर पानशेत धरण कोसळले असते तर हजारी नागरिक आपापल्या घरात अडकून पडले असते आणि आपल्या भोवती सर्वत्र काय घडत आहे हे समजण्यापूर्वीच त्यांना जलसमाधी मिळाली असती. पुराणात जलप्रलयाचे जे वर्णन आढळते तशीच स्थिती झाली असती. दुसरा योगायोग म्हणजे पानशेत धरण फुटल्यानंतर सुमारे सात तासांच्या अवधीनंतर खडकवासला धरण फुटले. पानशेत धरण कोसळल्यानंतर पाठोपाठ किंवा थोड्याच वेळाने जर खडकवासला धरण कोसळले असते तर खडकवासल्याच्या जलाशयात अडवून ठेवलेल्या पाण्यावर पानशेतकडून आलेल्या पाण्याचा भार पडला असता आणि या दोन जलोघांच्या संगमामुळे ज्या समुद्रप्रायः लाटा निर्माण झाल्या असत्या त्यांनी पुणे शहराचा याहून अधिक भाग बुडवून टाकला असता आणि पानशेत व खडकवासला धरणे फुटल्यामुळे १२ जुलै १९६१ रोजी जी प्रत्यक्ष हानी झाली त्यापेक्षा कितीतरी मोठ्या प्रमाणात विध्वंस झाला असता. काहीसे अकल्पित परंतु सुदैवी असे हे योगायोग घडूनही, ही दोन धरणे फुटल्यामुळे ओढवलेला नाश व अनर्थ यांचे प्रमाण खरोखरी अभूतपूर्व असेच होते. शहर विभागात ४,४२१ आणि ग्रामीण विभागात ६३२ इतक्या घरांची हानी झाली आणि त्यांची बरीच नासबूस झाली. ज्यांना या ना त्या प्रकारे पुराची झळ पोचली त्या लोकांची संख्या शहर विभागात ८८,२३९ आणि ग्रामीण विभागात ६,८३७ इतकी आहे. पुण्यातील नागरिक जवळजवळ बेसावध अवस्थेत सापडले आणि पुराची तीव्रता व गांभीर्य यांची कसलीही कल्पना त्यांना आली नाही. पानशेत येथील नव्याने बांधलेल्या मातीच्या धरणाला एका दुर्दैवी घटनेला तोंड द्यावे लागले; ती घटना म्हणजे अवेळी झालेली अभूतपूर्व आणि मुसळधार पर्जन्यवृष्टी. हा पाऊस जवळजवळ २५ जून १९६१ पासून सुरू झाला. २६ जून रोजी १२.७१ इंच पावसाची नोंद झालेली आहे. त्यानंतर अधूनमधून पाऊस पडतच राहिला. परंतु, ३० जून १९६१ रोजी पुन्हा ३.९६ इंच पाऊस झाला. १ जुलै १९६१ पासून पावसाने संततवार धरली. ९ जुलैला पावसाची तीव्रता पराकोटीला पोचली; त्या दिवशी ८.२८ इंच पाऊस पडला. पुन्हा १० जुलैला मुसळधार पाऊस पडला तो ४.०९ इंच. १० जुलै १९६१ पासूनच पानशेतवर मंकाटांचे ढग जमू लागले होते. तरीही पुण्याच्या नागरिकांची त्या अरिष्टाला तोंड देण्याची पूर्ण तयारी झालेली नव्हती. १२ जुलै १९६१ च्या घटना इतक्या अनपेक्षित

परिशिष्ट १

पानशेत धरण विभागाच्या भक्कमपणाचे पृथक्करण

१.००. पानशेत धरणाच्या तात्पुरत्या सांडपाण्याचा (वेस्ट वेअर) 'एँज एक्झिक्युटेड' विभाग याच्या सुरक्षिततेची चाचणी (पृथक्करण) वरच्या अंगाच्या उतारावर तलाव संपूर्णपणे भरलेल्या स्थितीत व त्वरेने एकदम रिकामा होणाऱ्या स्थितीत करण्यात आली होती. तर खालच्या अंगाच्या उतारावर सतत पाझरणाच्या स्थितीत चाचणी केली होती. ज्याअर्थी धरण विभागाचे दोनही उतार कमाल मर्यादपेक्षा ३ टक्के अधिक ओलावा असलेल्या लवचिक मृण्मय साहित्यावर आधारलेले होते त्याअर्थी या उतारावरून घसरल्यामुळे तेथे दुबळें स्थान निर्माण होऊन धरण कोसळणे शक्य आहे. त्यामुळे भक्कमपणाबाबत हिशोब दोनही मार्गांनी करण्यात आला आहे. परंपरागत पद्धतीने कालक्रमानुसार (रोटेशनल) येणारे अपयश व कोलंब सिद्धांतानुसार उताराची समतुलनशक्ति व त्यांच्या विरुद्धसमान पातळीवर दावामुळे मुळापासून घसरण्याची क्रिया यामुळे.

१.०१. धरण विभागांच्या भक्कमपणाबाबत पृथक्करण करताना घनत्व छेदनशक्ति याबाबत खालील मूल्ये वापरली आहेत. १ ते २० टक्क्यापर्यंत निरनिराळ्या ओलाव्याच्या अंशांच्या नमुन्यावर व घनफुटास १०७ ते ८६ पौंडपर्यंत कोरड्या स्थितीतील घनत्व बदलून केलेल्या प्रत्यक्ष छेदनशक्तीच्या प्रयोगांती व कमीत कमी मूल्ये गृहित घरून ही मूल्ये काढलेली आहेत. ही मूल्ये अत्यंत नेमस्त स्वरूपाची आहेत कारण ती एकंदर दाबाच्या संदर्भात तयार केली आहेत व त्यांचा भक्कमपणा अजमावताना छिद्रदाबाच्या परिणामासाठीही आवश्यक सूट दिलेली आहे.

साहित्य	सुके घनत्व	एक संघपणा	टॅन
(१) आच्छादिक साहित्य ओ. एम्. सी. ११४ पौंड (१४ टक्के) (जास्तीत जास्त ओलांकाची स्थिती १४ टक्के).	घनफूट.	१५० पौंड चौरस फूट.	०.५
(२) मध्य भागातील (हार्टिंग) साहित्य जास्तीत जास्त ओलांकाची स्थिती (ओ. एम्. सी.) १८ ते २० टक्के.	१८ पौंड घनफूट.	५०० पौंड चौरस फूट.	०.३५
(३) मध्यभागातील (हार्टिंग) साहित्य ३ टक्के जास्तीत जास्त ओलांकाची ओ. एम्. सी.	३१४ पौंड घनफूट.	३०० पौंड चौरस फूट.	०.३०

१.०२. या दोन पद्धतींनी सुरक्षिततेच्या किमान आवश्यकता खालील आढळतात. जलाशय भरल्यानंतर बंधान्यात पाणी मुरल्यामुळे एकसंघ (कोहेजन) मूल्य कमी होईल हे ध्यानात

घेऊन सुरक्षिततेच्या किमान गरजा ठरवताना आच्छादन साहित्याचे एकसंघताचे मूल्य शून्य धरले आहे व हार्टींग साहित्यासाठी चौरस फुटास ३०० पौंड वरले आहे.

किमान सुरक्षिततेच्या गरजा

नांवे	रोटेशनल फेल्यूअर मेथड.	स्लॉयडींग वेज मेथड.
(अ) प्रवाहाच्या वरच्या अंगाचे उतारे :—		
(१) तलाव पूर्ण भरत असण्याची स्थिती.	१.५५	१.५५
(२) आच्छादन साहित्यात ५० टक्के वाहून गेले आहे असे धरून त्वरेने रिकाम्या होणाऱ्या स्थितीत.	१.२१	१.२१
(ब) सतत पाझरण्याच्या स्थितीतील प्रवाहाच्या खालच्या बाजूचा उतार.	१.४९	१.५३

१.०३. प्रोक्टरच्या वेगवेगळ्या साहित्याच्या कमाल सुक्या घनत्वाच्या प्रयोगशाळेतील मूल्याबरहुकूम ही मूल्ये धरलेली आहेत. प्रत्यक्ष वेस्ट विअरमध्ये ठेवलेल्या साहित्याचे सर्व साधारण सुके घनत्व हे थोडे कमीच आहे. आच्छादन साहित्यासाठी घनफुटास १०० पौंड व हार्टींग साहित्यासाठी ९४ पौंड घनफूट. निरनिराळ्या स्थितीतील धरणाच्या सुरक्षिततेच्या प्रत्यक्ष गरजा किंचित कमीच होत्या. या संदर्भात थोडी आणखी कमी मूल्ये धरूनही जी किमान मूल्ये शिफारस केलेली आहेत त्या १.३-१.५ त्यांच्याशी तुलना करता ही मूल्ये पुरेशी ठरतात. (सॉईल मेकॅनिकस् इन इंजिनियरींग प्रॉव्हीस—लेखक तेझामी व पेक पान ३८८ प्रमाणे).

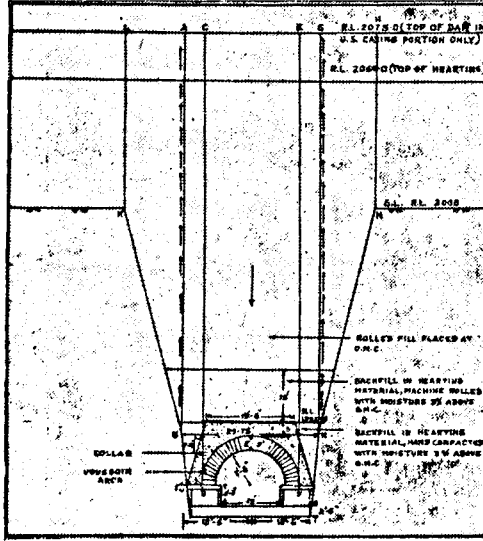
परिशिष्ट २

तात्पुरत्या वेस्ट विअर विभागातील काँडचूटवरील भाराचे मूल्यमापन
व कमानीच्या फासळ्यांवरील दाबांचा हिशोब

१. काँडचूटच्या कमानीवरील बंधान्याने पडणारे वजन हा एक अत्यंत मतभेदाचा मुद्दा असून त्याबाबत खालील अगदी परस्पर विरोधी मते व्यक्त करण्यात आली आहेत :-

- (१) संपूर्ण खंदकाची स्थिती या गृहितकृत्यावर मध्यवर्ती डिझाईन ऑफिसचे हिशोब आधारलेले आहेत ;
- (२) पूर्णपणे प्रोजेक्शन स्थिती ;
- (३) कॅसिंग मटेरिअलच्या खचण्याच्या किंवा घसरण्याच्या गुणधर्मांमुळे हार्टिंग झोनवर येणाऱ्या अतिरिक्त ओढीबरोबर पूर्ण प्रक्षेपण स्थिती.

२. पुढील आकृतीत जलवाहिनी मध्यवर्ती भागाच्या मध्यभागी केलेल्या बांधकामावरचा उभा भाग दाखवला आहे. म्हणजेच ज्या बिंदुपासून कमानीचा खालचा भाग वाहून गेला तो दाखवला आहे :-



पानशेत धरण काँडचूटची कमान कोसळल्यामुळे डासळले किंवा काय ते ठरविण्यासाठी धरण कोसळण्याच्या वेळेपर्यंत काँडचूटच्या कमानीवर पडणारे ओझे किती असण्याची अपेक्षा आहे ते शोधून काढले पाहिजे. केवळ डिझाईन करण्याच्या नेहमीच्या रीतीनुसार काँडचूटवर किती ओझे धरण्यात येते हे पाहून चालणार नाही.

३. काँडचूटच्या वरील भारावत सी डी ई एफ हे मध्यवर्ती संक्षेत्र, ए बी डी सी, ई एफ एच जी ही बाजूची संक्षेत्रेही येतात. नंतर जे के बी ए व आय एम् एच् जी ही संक्षेत्रे त्याच्या बाजूला येतात. काँडचूटच्या खंदकाच्या बाजूच्या निमुळत्या भागावर ती उभी असतात. कमानीवर पडणारा भार हा बाजूच्या संक्षेत्राशी तुलना करता मधल्या संक्षेत्राच्या पडणाऱ्या भारावर अवलंबून राहिल. जर मध्यवर्ती संक्षेत्र संकोचले वा खचले तर बाजूची संक्षेत्रे त्याचा भार पडण्यास प्रतिरोध करतील व त्यामुळे छेदन दाब निर्माण होऊन तो वरच्या दिशेला ओढ निर्माण करील. व

पहा एम्. जी. स्पॅंग्लर, भूगर्भान्तर्गत काँडचूट अद्यावत संशोधनाची माहिती, ए. एस्. सी. ई., जून १९४७, पान ८८५.

त्यामुळे कमानीवरील वजन कमी होईल. या ऊलट जर बाजूची संक्षेत्रे संकुचली वा खचली तर त्यामुळे मधल्या संक्षेत्रावर ओढ निर्माण होईल व कॉन्ड्यूटच्या कमानीवरील वजन वाढेल.

४. प्रिझमचे स्थिरीकरण काँड्यूट खचल्यामुळे पायाचे बांधकाम ढिलावल्यामुळे आणि प्रिझममध्ये भरणीसाठी वापरण्यात आलेल्या साहित्यातील कठीणपणा कमी झाल्यामुळे झाले असावे. सध्याच्या बाबतीत दगडी कमान खडकाळ पाण्यावर उभारली असल्याकारणाने पहिले दोन प्रकार महत्वाचे ठरत नाहीत. प्रिझममध्ये भरणीसाठी वापरण्यात आलेल्या साहित्याचे स्थिरीकरण सापेक्षतः अंतर्गत मजबुतीवरच अवलंबून आहे. काँड्यूटच्या कमानीवर तीन फूट उंचीपर्यंतचे खालील थराचे भरावाचे साहित्य कमाल आद्रतेपेक्षाही तीन टक्के अधिक आद्र असलेल्या आणि निर्जल दाढ्यापेक्षा किंचित कमी असे असून ते हाताच्या चोपणीने भरण्यात आले आहे, अर्थातच मध्यवर्ती प्रिझमच्या जवळ असलेले दोन प्रिझमस म्हणजे अनुक्रमे एबीडीसी व इएफएचजी हे अधिक दृढतर होण्याचा संभव आहे. त्यांना अंशतः मध्यवर्ती प्रिझमचा आणि अंशतः खंदकाच्या उतारावर आधारलेल्या टोकाकडील दोन प्रिझमचा आधार मिळेल. अशा परिस्थितीत मध्यवर्ती प्रिझमचे वजन अधिक-त्याला जोडून असलेल्या दोन पातळ प्रिझमचे निम्मे वजन हे काँड्यूटच्या कमानीवर पडणाऱ्या भारा एवढे होईल. त्याचप्रमाणे उपरीनिर्दिष्ट परिस्थितीत कमानीवर आडव्या दिशेने मारा होण्याचा संभव नाही. खंदकातील भेदमूलक दृढीकरण व अंतर्गत भरावात स्थिरता येण्याचे कार्य पूर्ण झाले म्हणजे स्पॅंगलरने बाणलेल्या खंदकाच्या बाबतीत जेवढा भार येईल तेवढाच अशा परिस्थितीत उद्भवेल आणि आडव्या दिशेने येणारा मारा. यू. एस्. बी. आर्. पद्धतनुसार उभ्या दिशेने येणाऱ्या भाराच्या एक-तृतीयांश एवढा असेल ही भारणपद्धती जरी माहीत नसली तरी ती प्रत्यक्ष कार्यवाहीत आणण्यास दीर्घ कालावधी लागला असता, निदान १२ जुलै १९६१ पर्यंत म्हणजे ज्या दिवशी धरण फुटले त्या तारखेपर्यंत ती कार्यवाहीत आणणे संभवनीय नव्हते. कोणत्याही परिस्थितीत काँड्यूटचा प्रक्षेपकोन करणे केवळ अशक्य होते, कारण असा प्रक्षेपकोन तयार करण्यास मध्यवर्ती प्रिझमपेक्षा खडकाळ टेकडीच्या उभट उतारावर बसविलेल्या टोकाकडील प्रिझमचे अधिक स्थिरीकरण होणे आवश्यक असते. या बाबतीत हे उघड उघड अशक्य होते.

५. असे सुचविण्यात आले आहे की काँड्यूटच्या मध्यवर्ती हार्टिंग विभागावर भारणाचा दाब विलक्षण वाढला असावा. कारण अंतर्गत विभागात केसिंग व हार्टिंगचे साहित्य या दोहोमधील परस्परदाबात विलक्षण वाढ झाली असावी. केसिंग व हार्टिंगसाठी वापरलेल्या साहित्यात अशा तऱ्हेचा परस्पर दाब निर्माण होण्यापूर्वी काँड्यूटच्या अंतर्गत विभागात काही खचणूक किंवा इतर तत्सम प्रकार होणे आवश्यक असते. केसिंगसाठी वापरलेल्या साहित्याचे जर अत्यंत द्रुत गतीने दृढीकरण झाले अथवा त्यात घसरण्याची प्रवृत्ती निर्माण झाली तरच काँड्यूटच्या अंतर्गत विभागात अशी खचणूक संभवते. जलाशय एकाकी तुडुंब भरला तर केसिंगच्या साहित्यात शोषणक्रियेमुळे स्थिरीकरण होण्याचा संभव आहे. आणि अशा परिस्थितीत केसिंग व हार्टिंगच्या साहित्यामध्ये परस्पर दाब किंवा ओढ निर्माण होण्याचा संभव आहे. तसेच हार्टिंग विभागाच्या खाली काँड्यूटच्या छतावर दाबाचे प्रमाण अशा परिस्थितीत वाढेल. मात्र जलाशय भरत जाईल तसतसे केसिंगच्या साहित्यातील स्थिरीकरण जेवढ्या प्रमाणात होईल त्यावर वरील प्रक्रिया अवलंबून राहतील. परंतु ही दाबप्रक्रिया अंतर्गत विभागातील हार्टिंग व केसिंगच्या साहित्यांत होणार असल्याकारणाने त्याचा परिणाम स्थानिक स्वरूपाचाच असेल. आणि त्यामुळे हार्टिंग क्षेत्राच्या माथ्यावरील-आडव्या विभागावर किंवा प्रवाहाच्या खालील बाजूस वाहून गेलेल्या विभागावर म्हणण्या इतका दाब येणार नाही.

६. काँड्यूट कमान कोसळेपर्यंतच्या वेळात त्या कमानीतील कोणत्याही भागात असलेल्या दाबांची वास्तव कल्पना, पुढील गोष्टीचा विचार करून येते : काँड्यूट कमान विभागाच्या बरोबर वर असलेल्या जलसाठ्याचे आणि जलाशयातील पाण्याचे एकूण वजन अधिक सेंट्रल प्रिझमला अगदी जोडून असलेल्या दोन बाजूच्या प्रिझमचे निम्मे वजन आणि त्यावर जलाशयाचे पाणी काही असल्यास त्याचे वजन ही गोष्ट मातीच्या

घरणात एकूण जादा भाराइतक्या भारासाठी काँडचूटचा आराखडा तयार करण्याच्या य. एस्. बी. आर्. पद्धतीनुसारच आहे. पहा—यू. एस्. बी. आर्., डिझाईन सप्लिमेंट क्र. २, प्रकरण १३ आऊटलेट वक्स, परिच्छेद १३.२१ सी-१, हा परिच्छेद पुढील प्रमाणे आहे:—

“काँडचूटच्या वरच्या भागावरील बाह्य भार हा समप्रमाणात विभागलेला असा ऊर्ध्व स्वरूपाचा भार असून तो काँडचूटच्या स्प्रिंग लाइनच्या बरोबर वर असलेल्या जलसाठ्याच्या व जलाशयातील पाण्याच्या वजनाइतका असतो. काँडचूटच्या बाजूवरील बाह्य भार हा समप्रमाणात विभागलेला असा भू-समांतर भार असल्यास तो ऊर्ध्व स्वरूपाच्या भाराच्या एक-तृतीयांश इतका असतो किंवा तो भू-समांतर भार नसतोही. काँडचूटच्या तळावर होणारी ऊर्ध्व स्वरूपाची प्रतिक्रिया, ही एकतर समप्रमाणात विभागलेल्या किंवा त्रिकोणात्मक स्वरूपात विभागलेल्या ऊर्ध्व स्वरूपाच्या भाराइतकी असते.

७. यू. एस्. बी. आर्. या पद्धतीत प्रकरणाच्या परिस्थितीनुसार भू-समांतर दाब असल्यास तो ऊर्ध्व स्वरूपाच्या दाबाच्या एक-तृतीयांशाइतका असतो किंवा भू-समांतर दाब नसतो. पानशेत खंदकाच्या बाबतीत काँडचूट कमानीवर कोणताही भू-समांतर दाब पडेल अशी अपेक्षा नव्हती, कारण पूर्वीच विशद करण्यात आलेल्या परिस्थितीत सेंट्रल प्रिझमला लागून असलेल्या दोन बारीक प्रिझमच्या वजनाचा भार सेंट्रल प्रिझम आणि या काँडचूटच्या उताराच्या बाजूकडील टोकाचे प्रिझम यांच्यामध्ये तो विभागला जाईल अशी अपेक्षा होती. काँडचूट कमान कोसळण्याच्या वेळेपर्यंत त्या कमानीवर जास्तीतजास्त किती संभाव्य भार पडेल ह्याचा हिशोब करण्याच्या कारणासाठी कमानीवरील भू-समांतर दाब शून्य आहे असे समजावे. अशा रीतीने काँडचूट कमानीवरील ऊर्ध्व स्वरूपाचा भार हा शिखरातून जाणाऱ्या भू-समांतर पातळीवरील २५ फूट हंदीच्या प्रिझम एवढाच असेल आणि या भारासाठी किती रिब स्ट्रेस आहे हे ठरविताना कोणताही भू-समांतर दाब जमेल घेतला जाणार नाही (कोष्टक १ पहा). काँडचूटची हंदी (२०.५ फूट) एवढ्या पाचरीच्या एकूण अतिरिक्त भारासाठी तुलना करण्याच्या दृष्टीने आणि ऊर्ध्व स्वरूपाच्या दाबाच्या $\frac{1}{3}$ इतका पार्श्वस्थ दाब असलेल्या खंदकाच्या परिस्थितीची तुलना करण्याच्या दृष्टीने आर्च रीब मधील दाबाच्या प्रमाणाचा हिशोबही करण्यात आला आहे (पहा कोष्टके २ व ३).

८. क्षितिजसमांतर दाब हा बाजूवर नेहमीच छिद्रदाबाच्या प्रमाणात पडला जाईल असे सुचविण्यात आले आहे. संपृक्ततेच्या प्रदेशातील जलदाबांच्या बाबतीत हे बरोबर असले तरी, छिद्रावर दाब पडल्यामुळे जे छिद्रदाब निर्माण होतात, उदाहरणार्थ बांधकामातील छिद्रावरील दाब, यांच्याबाबत हे खरे नाही. या पूर्वी स्पष्ट केल्याप्रमाणे, पृष्ठभागावरील मातीचे ढीग, तौलनिकदृष्ट्या अधिक दाबक्षम असलेल्या मातीचे बनलेले असल्यामुळे ते मध्यवर्ती प्रिझमच्या नजीक असलेल्या पार्श्ववर्ती प्रिझमवर कमानीसारखा विभाजनशील दाब टाकतात. त्यामुळे अघोभागी असलेल्या मातीच्या ढीगावरील भार कमी होतो आणि छिद्रदाब प्रसरण पावतो. त्यामुळे असा विभाजनशील दाब पडण्यापूर्वी जर काही छिद्रदाब अस्तित्वात असले तर ते मुक्त होतात. अभेद्य हार्टिंग साहित्याची खोली काँडचूटच्या कमानीच्या काही भागात सर्वात जास्त होती. त्या कमानीचा प्रवाहाच्या दिशेच्या बाजूचा भाग वाहून गेला होता. त्या भागातील ताणांचे मूल्यमापन करताना असे आढळून आले की, जलाशय भरून गेल्यानेतर घरण कोसळले, जलाशय परिपूर्ण होण्याच्या आधीच्या दोन आठवड्यांच्या अल्प कालावधीत संपृक्तता-रेषा निर्माण झाली असावी असे अनुमान करणे संयुक्तक नाही. त्या भागाच्या प्रवाहाच्या विरुद्ध दिशेकडील बाजूस असलेल्या केसिंग क्षेत्रात ज्या ठिकाणी मातीचे ढीग संपृक्त होऊ शकले असते, त्या ठिकाणी हा क्षितिजसमांतर दाब निर्माण होऊ शकला असता आणि त्या दाबामुळे कमानीच्या काँडचूटच्या विभागातील

स्थैर्यशक्ति वाढली असती. हाटिंग क्षेत्राच्या केंद्रस्थानी जेवढा दाब असतो, जवळ जवळ तेवढाच परिमाणाचा दाब जरी कांडचूटच्या उपरोक्त विभागावर पडलेला होता तरी ते विभाग वाहून गेले नाहीत आणि त्यांच्यामध्ये अतिवजनामुळे खिळखिळेपणा निर्माण झाल्याची लक्षणेही दिसली नाहीत.

९. कांडचूटच्या कमानीच्या दगडी चिरेबंदीवर दिला जावू शकणारा कमाल ताण ५०० पीएसआय कॉंप्रेशन आणि १०० पीएसआय टेन्शनपर्यंत घेता येईल. हाटिंग-खालील कांडचूटच्या कमानीचा जो भाग वाहून गेला त्यात कमाल ताण निर्माण झाला पाहिजे. आणि त्यापुढे कमानीच्या या भागावर नक्कीच अतिशय ताण पडला असला पाहिजे. तरीपण या कारणामुळे कमान कोसळली नसावी, कारण कमानीमध्ये थोडीदेखील विकृती निर्माण झाल्यास त्यावर असलेल्या मातीच्या बंधान्याचा मध्यवर्ती प्रिझमदेखील त्याच प्रमाणात खचतो. त्यामुळे कांडचूटच्या कमानीवरील उभा भार बऱ्याच प्रमाणात कमी होतो व भार डिच स्थितीच्या इतका खाली येतो. साइड प्रिझमच्या भारयुक्त होण्यामुळे कांडचूटच्या कमानीवर आडवा आघात निर्माण होतो व अशाप्रकारे कांडचूटच्या कमानीवरील ताण, ताणाच्या तक्त्यात स्तंभ ४ मध्ये नमूद केल्याप्रमाणे सुरक्षिततेच्या मर्यादेपर्यंत कमी होतो. या संबंदात टीआरएन्एएस, ए.एस.सी. ई. १९६०, खंड पान २९३ गॅरीझन डॅम टेस्ट टनेल, सिंपोझिअममधील उतारा खाली उद्धृत केला आहे :—

“कांक्रिट लायनिंग जर इतके मजबूत असेल, की त्याचा मोठ्या प्रमाणावरील नमनरोध मूलतः बहुतेक उभा भार सहन करतो आणि त्यामुळे उच्चतर फायबर ताण निर्माण होतो, तर लायनिंगला तडा गेल्याने रिग इतकी अधिक वाकू लागेल की, गमनशील भार व्ही.एच्. निर्माण करून उम्या भारात पडलेली भर सहन करण्याच्या बाबतीत ती संतुलनावस्थेला प्राप्त होईल. एक मर्यादित प्रकरण म्हणून ज्या भागात बराच तडा गेला आहे तेथे लायनिंग, हिज्ड ब्लॉक्स मालिकेच्या रूपात पृथक झालेल्या कमानीपर्यंत जाईल. अशी मालिका उच्च प्रमाणातील आघात सहन करू शकते पण तिचा वेग कमी असतो व नमनशीलता फार असते. “हे ओतीव लोखंडाच्या तुकड्यांच्याऐवजी प्रत्येक वर्तुळाकार सांघ्यात थोडीबहुत नमनशीलता आणण्यासाठी संपीड्य सामग्रीच्या पातळ पत्र्याबरोबर प्रिकास्ट कांक्रिटच्या तुकड्यांचा वापर करण्याच्या इंग्रजी पद्धतीप्रमाणेच आहे. अशा प्रकारची तुकड्यांची रिग पूर्णपणे सुरक्षित असते आणि ती तडा जाण्यापूर्वी कडक रिगच्या मानाने पुष्कळच अधिक भार, ताण अतिशय न होता, सहन करण्यास खरोखरच समर्थ असते. मात्र निर्माण होणारा दोष लहान स्वरूपाचा असावा आणि रिगची मजबूती बर्कलिंग न होता टिकून राहावी.”

१०. वरील विवेचनावरून असे दिसून येईल की, कांडचूटच्या कमानीवर जो बंधान्याचा भार होता त्या भारामुळे ती कमान खचू शकली नसती, कारण तसे झाल्यास कमानीतील दगडांची फेरजुळवणी झाली असती आणि परिणामतः लंबरूप दाब कमी झाला असता आणि अकार्यशील असा क्षितिजसमांतर दाब वाढला असता. तथापि, ज्या ज्या ठिकाणी अतिशय ताण पडेल त्या त्या ठिकाणचे सांघे निखळतील आणि ज्या ज्या जागी अतिशय

दावात्मक जोर पडेल त्या त्या जागेच्या चुन्याचा चुराडा होईल. हेही जवळ जवळ निश्चितच आहे.

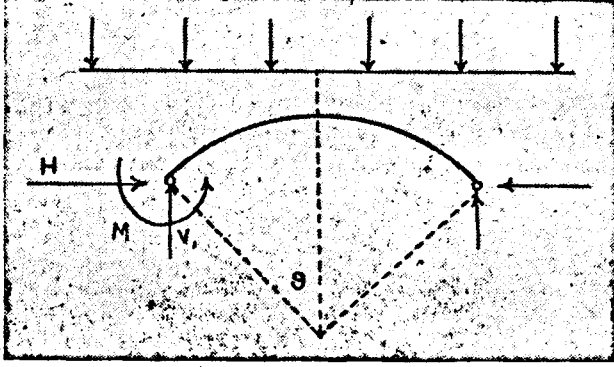
११. कांड्यूटच्या कमानीच्या पर्शुकेतील निरनिराळ्या परिस्थितीतील ताण खाली दिले आहेत :—

कांड्यूटच्या कमानीच्या पर्शुकेतील ताण दर्शविणारा तक्ता

जागा.	पाचरीच्या रुंदीतील पूर्ण भरलेल्या स्थितीतील भार २५ फूट. पी.एच्=०	पाचरीच्या रुंदीतील पूर्ण भरलेल्या स्थितीतील भार २०.५ फूट पीएच्=पीव्ही/३	डिच स्थिती =पीव्ही/३.
माथा	.. शिखर .. +८२७ पीएस्आय	.. +६३५ पीएस्आय	+५६० पीएस्आय
	तळ .. —३३० पीएस्आय	.. —११३ पीएस्आय	—९९ पीएस्आय
उसळणे	.. शिखर .. +१२२० पीएस्आय	.. +७१५ पीएस्आय	+६२० पीएस्आय
	तळ .. —२५६ पीएस्आय	.. —८५ पीएस्आय	—७४.५ पीएस्आय

काँडचूटच्या कमानीतील ताण

काँडचूटच्या दगडी कमानीतील ताणाचा हिशोब करताना कमान अचल आहे असे गृहीत घरलेले आहे. अचल कमानीतील रिब शॉर्टनिंग इफेक्ट घरून गतीचे व समपातळीतील पाण्याच्या दुशाचे प्रमाण खालीलप्रमाणे आहे (आर्. जे. रोजकंस बुक, पान १६३, केस ३० पहा).



समपातळीतील दुशी एच्. बरोबर

$$\text{एच्} = \text{डब्ल्यू आर्} \left[\frac{1/8 (\text{एस्}^3 \text{सी/ओ} - \text{एस्}) + 1/6 \text{एस्}^3 + \frac{\infty (\text{ओ/४} - 1/2 - \text{ओसी}^2 + 1/8 \text{एस् सी})}{1/2 \text{एस् सी} - \infty (\text{ओ/२} + \text{एस् सी/२})} \right]$$

गती एम्१ बरोबर

$$\text{एम्१} = \text{डब्ल्यू आर्}^2 \left(1/2 \text{एस्}^3 - 1/8 + 1/8 \frac{\text{एस् सी}}{\text{ओ}} \right) - \text{एच् आर्} \left(\frac{\text{एस्}}{\text{ओ}} - \text{सी} \right)$$

उभी दुशी व्ही१ बरोबर

$$\text{व्ही१} = \text{डब्ल्यू आर् एस्}$$

$$\infty = \text{आय्/ए आर्}^2 = \text{जिये ए} = \text{क्रॉस सेक्शनल एरिआ बी} = \text{कमानीची त्रिज्या.}$$

पानशेतच्या कमानीचे प्रत्यक्ष उदाहरण

$$\text{आर्} = ७.५ + २.७५/२ = ८.८७५ \text{ फूट.}$$

$$\infty = \text{बीडी}^3 / 12 \cdot 1 / \text{बीडी} \cdot 1 / \text{आर्}^3$$

$$= (२.७५)^3 / 12 \cdot (८.८७५)^3 = ०.००८००२.$$

कमान अर्धवर्तुळाकार असल्यामुळे ओ = $\frac{\pi}{2}$.

एस्. = साईन ० = १

सी = कॉस ० = ०

एस्, सी व ० च्या किमती घालून

एच् = डब्ल्यू.आर् (०.५१७१)

एम् १ = डब्ल्यू.आर्^२ ($\frac{३}{२} \cdot १ - \frac{३}{२} + ०$) = ०.५१७१ डब्ल्यू.आर्^२ ($\frac{२}{\pi} - ०$)

= - ०.०७९४ डब्ल्यू आर्^२

व्ही १ = टीएस् = डब्ल्यू आर्एस् = डब्ल्यू आर्

शिखरावरील गती एम् सी बरोबर

एम् सी = - ०.०७९४ डब्ल्यू आर्^२ + ०.०१७१ डब्ल्यू आर्^२

= ०.०६२३ डब्ल्यू आर्^२

केस १

सर्वत्र समान वितरण झालेला केवळ लंबरूप भार कार्यशील आहे.

शिखरावर

नंतर एच् = ०.५१७१ डब्ल्यू आर्

एम् सी = ०.६२३ डब्ल्यू आर्^२

जिथे डब्ल्यू = दर आर एफ टी वरील भार

आर् = कमानीची परिणामकारक त्रिज्या

पी टॉप, पी बॉटम = पी टी, बी = $\frac{\text{एच्}}{\pi} \pm \frac{\text{एम् सी वाय्}}{\text{आय्}}$

$$= \frac{०.५१७१ \text{ डब्ल्यू} \times ८.८७५}{२.७५} \pm \frac{०.६२३ \text{ डब्ल्यू} \times ६ \times ८.८७५^२}{२.७५^२}$$

किंवा पीटी = ५.५६३ डब्ल्यू पौंड/चौ. फूट = ०.०३८६ डब्ल्यू पीएस्.आय्.

पी बी = - २.२२३ डब्ल्यू पौंड/चौ. फूट = - ०.०१५ डब्ल्यू पी एस्. आय्.

स्प्रिंगिंग जवळ

एम् १ = ०.०७९४ डब्ल्यू आर्^२

टीएस् = डब्ल्यू.आर्

पी टी, बी = $\frac{\text{डब्ल्यू} \times ८.८७५}{२.७५} \pm \frac{६ \text{ डब्ल्यू} \times ०.०७९४ \times ८.८७५^२}{२.७५^२}$

$$= ३.२३ \text{ डब्ल्यू} \pm ४.९६६ \text{ डब्ल्यू}$$

पी टी = ८.१९६ डब्ल्यू पौंड/चौ. फूट = ०.०५८९ डब्ल्यू पी. एस्. आय्.

पी. बी = - १.७३६ डब्ल्यू पौंड/चौ. फूट = - ०.०१२ डब्ल्यू पीएस्.आय्.

केस २

जेव्हा जमीनीच्या दाबामुळे पडलेला पाश्विक भार
विचारान्त घेतला जातो तेव्हा

पाश्विक भार = $\frac{\text{पी आर्}}{३}$ असे मानून गती व दुशीचे प्रमाण पुढीलप्रमाणे निघते :—

गिखरावर

$$\text{एच्} = ०.६५८ \text{ डब्ल्यू. आर्.}^३$$

$$\text{एम्. सी.} = ०.०४८५ \text{ डब्ल्यू. आर्.}^३$$

$$\begin{aligned} \text{पीटी., पीव्ही.} &= \frac{\text{एच्}}{\pi} \pm \frac{\text{एम्सीवाय्}}{१} = \frac{०.६५८ \text{ डब्ल्यू.} \times ८.८७५}{२.७५} \\ &\quad \pm \frac{०.०४८५ \text{ डब्ल्यू} \times ६ \times ८.८७५^३}{२.७५^३} \\ &= २.१२ \text{ डब्ल्यू.} \pm ३.०४ \text{ डब्ल्यू} \end{aligned}$$

$$\text{पीटी.} = ५.१६ \text{ डब्ल्यू. पौंड/चौ. फूट} = ०.०३६ \text{ पी. एस्. आय.}$$

$$\text{पी.बी.} = ०.९२ \text{ डब्ल्यू. पौंड/चौ. फूट} = -०.००६ \text{ डब्ल्यू. पी. एस्. आय.}$$

स्प्रिंगिंग जवळ—

$$\text{टीएस्.} = \text{डब्ल्यू. आर्.}$$

$$\text{एम् १} = ०.४०७ \text{ डब्ल्यू. आर्.}^३$$

$$\begin{aligned} \text{पीटी.बी.} &= \frac{\text{डब्ल्यू.} \times ८.८७५}{२.७५} \pm \frac{०.४०७ \text{ डब्ल्यू.} \times ८.८७५^३ \times ६}{२.७५२^३} \\ &= ३.२३ \text{ डब्ल्यू.} \pm २.५४ \text{ डब्ल्यू.} \end{aligned}$$

$$\text{पी.टी.} = ५.७७ \text{ डब्ल्यू. पौंड/चौ. फूट} = ०.०४ \text{ डब्ल्यू. पी. एस्. आय.}$$

$$\text{पी.बी.} = ०.६९ \text{ डब्ल्यू. पौंड/चौ. फूट} = ०.००४८ \text{ पी. एस्. आय.}$$

केस १

संपूर्ण अधिकांत अधिक वजन असताना पाचरीची रुंदी = २५ फूट.

समपातळीत दाब = पीटी = ०

मातीच्या पाचरीचे वजन = १२० × १२५ × २५ पौंड.

$$= ३,७५,००० \text{ पौंड.}$$

कॉन्ड्युटच्या परिणामकारक (स्पॅनच्या) क्षेत्राच्या त्रिज्येवरील दर फुटास वजन

$$३,७५,०००$$

$$= \frac{३,७५,०००}{१७.७५} = २१,१०० \text{ पौंड.}$$

$$१७.७५$$

$$\text{कमानीचे स्वतःचे वजन} = \frac{\pi \times 2.275 \times 140}{2 \times 2.275} = 236 \text{ पौंड/आर्. फूट.}$$

$$\text{त्रिज्येचे दर फूटामागे एकंदर वजन} = \text{डब्ल्यू.} = 21,100 + 236 \\ = 21,336 \text{ पौंड.}$$

$$\text{किंवा} = \text{साधारणतः } 21,400 \text{ पौंड.}$$

तक्ता १

	स्थान.	दाब दर चौ. इंचामागे.
शिखर	वर .. ०.०३८६ डब्ल्यू.	८२७
	तळाला .. ०.०१५४ डब्ल्यू.	—३३०
शिखर	वर .. ०.०५६९ डब्ल्यू.	१२२०
	तळाला .. ०.०१२ डब्ल्यू.	—२५६

केस २—

$$\text{संपूर्ण 'अधिकांत अधिक' वजन, पाचरांची हंडी} = 20.5 \text{ फूट} \\ \text{पी.व्ही.}$$

$$\text{समपातळीतील दाब पीएच.} = \frac{3}{}$$

$$\text{मातीच्या पाचराचे वजन} = 120 \times 125 \times 20.5 \\ = 3,00,000 \text{ पौंड.}$$

$$\text{परिणामकारक क्षेत्रावरील (स्पॅन) माती भरणीमुळे त्रिज्येवरील} = \frac{3,00,000}{17.75} \\ = 17,350 \text{ पौंड/आर्. फूट.} \\ = 236 \text{ पौंड/आर्. फूट} \\ = 17,586 \text{ पौंड/आर्. फूट} \\ \text{किंवा} = \text{साधारणतः } 17,600 \\ \text{पौंड/आर्. फूट.}$$

तक्ता २

	स्थान.	दाब प्रत्येक चौरस इंचा मागे. (डब्ल्यू = १७,६०० पौंड.)
शिखर	वर .. ०.०३६ डब्ल्यू.	६३५
	तळाला .. ०.००६४ डब्ल्यू.	—११३
स्प्रिंग	वर .. ०.०४ डब्ल्यू.	७१५
	तळाला .. ०.००४८ डब्ल्यू.	८५

केस ३—

डिचची अवस्था—

एच् सी = १२० फूट.

बी डी = २९.२५ फूट बी सी = २०.०५

एच्सी १२०

≡ ४.१

बीडी २९.२५

डब्ल्यू = १२५ पौंड / घनफूट

सीडी — २.५५ (स्पॅगलसंच्या सॉइल इंजिनिअरींगच्या ४०१ पानावरील वक्राकृतीवरून)
त्रिज्येच्या दर फूटावरील एकंदर भार = डब्ल्यूसी = सीडी × डब्ल्यू × बीडी^३

२.५५ × १२५ × २९.२५ × २९.२५

≡

२०.२५

≡ १३,३०० पौंड / आर् फूट

कांडचूटच्या परिणामकारक क्षेत्रावरील भार

१३,३०० × २०.२५

≡

१७.७५

≡ १५,२०० पौंड / आर् फूट

खुद्द कमानीचे वजन = २३६ पौंड / आर् फूट

एकूण भार, डब्ल्यू = १५,४३६ किंवा साधारणतः १५,५०० पौंड / आर् फूट.

समपातळीतील दाब पीएच् ≡ पी व्ही

तक्ता ३

स्थान	दाब प्रत्येक चौरस इंचागणिक (डब्ल्यू = १५,००० पौंड)
शिखरावर	
वर .. ०.०३६ डब्ल्यू	५६०
तळाला .. ०.०६४ डब्ल्यू	— ९९
रिप्रिगींग	
वर .. ०.०४ डब्ल्यू	६२०
तळाला .. ०.०४८ डब्ल्यू	७४.५

परिशिष्ट ३

उतारा १

फुटलेल्या मातीच्या धरणांची यादी

[माहिती पुढील ग्रंथांतून घेतली आहे: (१) इंजिनअरींग फॉर डॅमस्. ले. क्रेगर, जस्टिन व हिड्स, खंड ३ रा, पाने ६६०-६६१.
(२) फेल्युअर ऑफ अर्थ डॅमस्, ले. के. एल. राव, इंटरनॅशनल सोसायटी ऑफ सॉइल मेकॅनिक्स अँड फाऊन्डेशन इंजिनअरींग, रिजनल कॉन्फरन्स (एशिया), १९६०.]

अनु- क्रमांक	नांव	ठिकाण	उंची (फूट)	फुटल्याची तारीख	कशाचा बनविला (कोर)	शेरा
१	२	३	४	५	६	७
१	फोर्ट पीक*	मॉन्टेना	२२५	१९३८	सिल्ट हायड्रो फिल	पाया ढासळला, कमी छेदनशक्ती (लोशिअर स्ट्रॅथ).
२	ला रेगाडेरा*	कोलंबिया, दक्षिण अमेरिका.	१०८	१९३७	चिकणमाती	पायामधील प्लॅस्टिक बले ढासळला.
३	मार्शल क्रिक*	कॅसास	७०	१९३७	चिकणमाती व गाळ	वरीलप्रमाणे.
४	क्लेन्डॅनिंग*	ओहिओ	६२	१९३४	सदोष रोड मटेरिअल	प्लॅस्टिक बंधान्याच्या छेदनशक्तीतील किंचित कमतरता.
५	तापान*	ओहिओ	५२	१९३४	रोड मटेरिअल, २५ टक्के चिकणमाती.	जहरीपेक्षा अधिक संकोचन (कन्सॉलिडेशन) झाल्यामुळे झालेली धरणातील हालचाल.
६	बेल फॉर्से*	एस्. डाकोटा	११५	१९३३	रोड माती	प्रवाहाच्या वरच्या अंगाचा भाग कोसळला (सडन ड्रॉडाऊन):

परिशिष्ट ३—चालू.

अनु० क्रमांक	नाव	ठिकाण	उंची (फूट)	फुटल्याची तारीख	कशाचा बनविला (कोर)	शेरा
१	२	३	४	५	६	७
७	अलेक्झांडर*	.. हवाई बेटे ..	१२५	१९३०	हायड्रॉलिक फिल	अंतर्गत द्रव दाब (लिव्हड प्रेशर).
८	बालसंभ*	.. न्यू हॅम्पशायर ..	६०	१९२९	क्रॉकीट	.. उत्प्लव मार्गातून झालेल्या पाणलोटामुळे शिलामुलाची झीज होऊन उतिनाश.
९	प्लेझंट व्हॅली	.. उटाह ..	६३	१९२८	पडल कटऑफ अर्थ फिल.	सेटलमेंट अण्ड पायपिंग.
१०	टेबल रॉक कोव्ह	.. ग्रिनव्हिले, एस्. सी.	१४०	१९२८	चिकणमाती	.. निर्गमद्वार नलिका फुटल्यामुळे.
११	पूडींगस्टोन	.. कॅलिफोर्निया ..	५०	१९२६	कांक्रिट फेसिंग	.. ओव्हर टॉपींग
१२	अपिशापा	.. कोलोरॅडो ..	११५	१९२३	कांक्रिट	.. सेटलमेंट क्रॅक्समुळे पायपिंग.
१३	केलव्हेरास *	.. कॅलिफोर्निया ..	२४०	१९१८	चिकणमाती	.. संरक्षक आच्छादनावरील दाब.
१४	लोअर ओटे	.. कॅलिफोर्निया ..	१३६	१९१६	पोलाद	.. अपुरा उत्प्लव मार्ग.
१५	वेसे, पास नदी	.. बोहेमिया ..	४२	१९१६	पोलाद	.. कांड्यूट पाझरू लागला.
१६	लिमन	.. ऑरिझोना ..	६५	१९१५	पडलड	.. पाईपिंग आणि स्लॉफिंग.
१७	हॉर्स क्रिक	.. कोलोरॅडो ..	५६	१९१४	नाही	.. पाईपिंग आणि स्लॉफिंग.
१८	लेक जॉर्ज	.. कोलोरॅडो ..	...	१९१४	पडलड	.. पाईपिंग
१९	हॅचटाऊन	.. उटाह ..	६५	१९१४	...	.. कतल्हर्ट पाझरू लागले.
२०	हेब्रॉन	.. न्यू मेक्सिको ..	५६	१९१४	...	.. गोकरच्या भोकातून पाणी येऊ लागले.
२१	डेव्हिस रिझरव्हॉयर	.. कॅलिफोर्निया ..	३९	१९१४	...	.. पाईपिंग, दरवाजांच्या बांधकामात
२२	मुपलरिडा कॅनिऑन	.. कॅलिफोर्निया ..	६५	१९१४	रिन. कांक्रिट कोअर	.. कटऑफचा अभाव.
२३	कॉलोरॅडो स्प्रिंग्ज	.. कोलोरॅडो ..	५०	१९१२	...	.. अपुरा उत्प्लव मार्ग. .. पाईपिंगमुळे अंशतः कोसळले.

२४	बेस्ट ज्युलेस्बर्ग	..	कोलोरॅडो	..	५०	१९१०	काही नाही	..	लेजरॉक मधून पाणी झिरपू लागले.
२५	झुनी	..	व्हॅकरोक, मेक्सिको	एन्	७०	१९०९	"	..	हायड्रॉलिक फिल व रॉक पायपिंग.
२६	नेकावसा	..	मेक्सिको	..	१९३	१९०९	चिकणमाती	..	बांधकाम चालू असता खचले.
२७	डेब्रिस बॅरिअर नं. १, युवा नदी	..	कॅलिफोर्निया	...	...	१००७	...	..	अपुरा उत्प्लव मार्ग.
२८	लेक अॅव्हलॉन	..	न्यू मेक्सिको	..	४८	१९०४	...	..	पायपिंग.
२९	प्रिनलिक स्कॉट्सडेल डॅम	..	पेनसिल्व्हानिया	..	६०	१९०४	...	..	पायपिंग.
३०	उटिका रिझरव्हॉयर	..	न्ययॉर्क	..	७०	१९०२	...	..	उभे उतार; निकृष्ट बांधकाम.
३१	लेक फ्रान्सिस	..	कॅलिफोर्निया	..	५०	१८९९	काही नाही	..	सेटलमेंट व बहिर्गामी काँडिट झिरपू लागला.
३२	स्नेक रॅव्हिन	..	कॅलिफोर्निया	..	६४	१८९८	हायड्रॉलिक	..	निकृष्ट बांधकाम.
३३	जॉनस्टॉउन	..	न्यासीव्हानिया	..	७२	१८८९	काही नाही	..	अपुरा उत्प्लव मार्ग.
३४	आटी*	..	भारत	..	५८	१८८३	पडलड	..	पाया अंशतः कोसळला कमी छेदन-शक्ति.
३५	रवान सी	..	साउथ वेल्स, ग्रेट ब्रिटन	..	८०	१८७९	पडलड	..	पार्श्वपिंग.
३६	सालुदा घरण	..	कोलंबिया, अमेरिका	..	२०८	१९३२	इंपरव्हिअस	..	प्रवाहाच्या खालच्या बाजूस अपुरी सांडपाण्याची सोय.
३७	किंग्सले घरण	..	नाब्रास्का	..	१६०	१९४१	...	..	लाटांच्या मान्यामुळे प्रवाहाच्या वरच्या बाजूकडील दर्शनी थर कोसळला आणि आपल्याबरोबर तो खालचा सूक्ष्म द्रव्याचा थर शोषून घेऊन गेला.
३८	हॅरिंगेट घरण	..	ब्रिटन	..	२९	१९५३	...	..	अति अवर्षणामुळे भरावासाठी वापरलेल्या चिकणमातीचा संकोच झाला आणि ती हळू हळू शिलामुलाजवळ सरकली.
३९	चिंगफोर्ड एम्बॅकमेंट	..	ब्रिटन	..	३४	१९३७	पडल.कोबर सिलेक्ट्रेड फिल	..	घरणाच्या भागाची आखणी सुरक्षित नव्हती.

111

परिक्षित्त ३-चालू

अनु- क्रमांक	नांव	ठिकाण	उंची (फूट)	फुटल्याची तारीख	कशाचा बनविला (कोर)	शेरा
४०	पालकमती घरण	मध्य प्रदेश, भारत	४८	१९५३	निवडलेले साहित्य	प्रवाहाच्या वरच्या बाजूचा उतार ४०० फूट सरकला.
४१	अहरोरा घरण	उत्तर प्रदेश, भारत	७५	१९५३	होमोजिनिअस	पाणी आत येण्याच्या मार्गावर बांधास १०० फुटाचा घरणाचा तडा.
४२	अरवार घरण	राजस्थान, भारत	४१	१९५६	इंपरव्हिअस	असमाधाकारक बांधकाम, घरणाखाली पुरेशा कटऑफचा अभाव, फुटलेल्या भागाचे नवीन सांधमोड, भरीव बांधकाम योग्य रीतीने केले नव्हते. राईट स्लुइस रिटेनिंग वॉलची सदीष आखणी आणि अपुरा कटऑफ.
४३	गुहाह घरण	राजस्थान, भारत	९३	१९५६	...	नव्या व जुन्या कामांची निरूपट प्रतीची सांधेमोड.
४४	काहम	आंध्र प्रदेश, भारत	७४	१९५८	कंपोजिट	अपुरा उत्प्लव मार्ग व दरवाजाची चुकीची कार्यपद्धती.

३१५

परिशिष्ट ३—चालू

उतारा २

(क्रेगर, जस्टिन व हिंड्स, खंड १, पान २०२ वरील उतारा)

जी घरणे कोसळल्यामुळे मानवी जीवांना वा मालमत्तेला फारसा धोका पोहोचत नाही अशा छोट्या घरणांच्या उत्प्लव मार्गाच्या गरजा विचारात घेताना सुरक्षिततेच्या मर्यादाबरोबरच आर्थिक चिकित्साही करणे आवश्यक असते. परंतु ज्या ठिकाणी उंच बंधारे बांधावयाचे असतात तेथे उत्प्लव मार्ग अपुरे असल्यामुळे जे नुकसान होते ते घरण बांधणाऱ्यांना भरून देणे शक्य नसते अशा ठिकाणी समान न्यायाने नुकसानभरपाई देणे व्यवहार्य ठरते. अशा घरणांच्या कोसळण्याने होणारे सामाजिक परिणामांचे जीवनाच्या नाशाचे आर्थिक परिभाषेत मूल्य करणे अशक्य असते.

फक्त बांधकामाला पोहोचणारा धोकाच लक्षात घ्यावयाचा तर अगदी कुठल्याही परिस्थितीत सुरक्षितता निर्माण करण्यास होणारा खर्च करण्यापेक्षा अस्वाभाविक प्रचंड पुर येण्याच्या असंभाव्यतेवर विसंबून राहाणे घरण बांधणाऱ्यांना योग्य वाटण्याचा संभव आहे. परंतु ज्यावेळी अशा दुर्घटनेमुळे होणारे नुकसान इतरांपर्यंत जनतेपर्यंत पोहोचणारे असेल त्यावेळी पुराचे अतिरिक्त प्रवाहाचे पाणी वाहून जाण्यास उत्प्लव मार्ग तयार करताना अत्यंत कसोशीने विचार करावा लागेल. पुराचे पाणी खालच्या अंगाला जेथे वाहून जाते तेथील आजच्या परिस्थितीबरोबरच संभाव्य विकासाचीही कल्पना करूनच घरण फुटल्यामुळे होणाऱ्या मानवी हानीची व मालमत्तेच्या नुकसानीची कल्पना करावी लागते.

उतारा ३

(यु. एस्. बी. आर्. डिझाईन सप्लीमेंट नं. २, प्रकरण १३, ही निर्गम धाराचे बांधकाम, परिच्छेद १३.२१ सी मधील उतारा.)

पायावरील उम्या वजनाची होणारी वाटणी पृष्ठभागाचा ताठपणा व पायात वापरलेल्या साहित्याचा लवचिकपणा यावर अवलंबून असते. पायांच्या प्रतिक्रियेमुळे कॉडचूटमधील दाबावर होणाऱ्या परिणामांचे पृथक्करण केले तर असे आढळते की, दाब एकतर सर्वत्र सारखा वाटला गेलेला असतो अगर त्रिकोणात्मक (पायाच्या दोन्ही टोकांवर सर्वांत अधिक मध्यभागी शून्य असा) असतो. या दोन टोकांचा विचार नमुना तयार करताना करावयाचा असतो :—

(१) कॉडचूटच्या वर बाहेरून येणारे वजन हे समान तऱ्हेने वाटले गेलेले उभे वजन असते. भरावाचे वजन व कॉडचूटच्या स्प्रिंग रेषेच्या अगदी वरील तळाचातील पाण्याच्या वजनाच्या बरोबर ते असते. कॉडचूटच्या बाजूवर पडणारा भार हा सर्वत्र समान तऱ्हेने पडणारा समपातळीतील दाब असतो. तो भार उम्या वजनाच्या १/३ व समपातळीतील वजन नसल्याप्रमाणे असतो. कॉडचूटच्या तळावर होणारी उभी प्रतिक्रिया ही समानपणे वाटल्या गेलेल्या वा त्रिकोणात्मक वाटल्या गेलेल्या उम्या वजनाइतकी असते.

(२) अंतर्गत वजन हे त्रिजात्मक वजन (रॅडिअल) असते. ते कॉडचूटच्या मध्यरेषेवरील पाण्याच्या संपूर्ण दाबाइतके असते.

उतारा ४

(यु. एस्. बी. डिझाईन सप्लीमेंट नं. २, प्रकरण १३ वे. आऊटलेट वर्क्स परिच्छेद १३.२१ एक).

कॉडचूटचे आराखडे काढताना निर्गमद्वाराच्या मार्गातील संपर्क पातळीमधून पाणी पाझरण शक्य तितके कमी होईल याची तरतूद करण्यात आली पाहिजे. त्यासाठी

काँडचूटच्या बाहेरच्या भागाभोवती आढी घातली पाहिजे. विशेषतः धरणाच्या वरच्या प्रवाहाच्या भागाची व मध्यभागाच्या भागात ही काळजी घ्यावयास हवी. ही आढी २ ते ३ फूट वजनाची व बारा ते १८ इंच रुंदीची असावी व ती त्यांच्या उंचीच्या ७ ते १० पट इतक्या अंतरावर असावीत त्यामुळे पाझरणाच्या भागांचा मार्ग २० ते ३० टक्क्यांनी वाढेल. ज्या ठिकाणी पाया भक्कम खडकाचा असेल व खडक आणि कोंक्रीटचा सांधा घट्ट व भक्कम असण्याची खात्री असेल तेथे ही आढी काँडचूटच्या खाली पायापर्यंत घालण्याची गरज नाही तरीही अशा परिस्थितीत आढ्याची खालची टोके खडकाच्या पृष्ठभागाच्या आत शिरू द्यावीत म्हणजे त्यांच्याखाली पाणी पाझरणार नाही. काँडचूटचे वजन व भरावाचे वजन यामुळे पायातील सांध्याच्या घट्टपणात भर पडते. ज्या ठिकाणी पायात वापरलेले साहित्य अगदी घट्ट नसेल तेथे आढ्याचा घेर काँडचूटच्या खालच्या बाजूसही वाढवून पाझराचा मार्ग वाढवावा. याबरोबरच पायातील खडक जर सच्छिद्र असेल तर त्यात भराव भरावा. काँडचूटच्या पृष्ठभागापासून आढ्याचे बांध-बांधकाम दूर असावे. यासाठी काँडचूटचा बाह्य पृष्ठभाग व आढे यांचे दरम्यान जल-प्रतिबंधक बिटुमिनस भराव १ ते १॥ इंच भरावा. या सांध्यामुळे काँडचूटच्या पृष्ठ-भागावर आढे समपातळीत ठेवण्यास मदत होईल. फासळ्यामुळे पडणाऱ्या ताणामुळ निर्माण होणारा जादा दाब नाहीसा होईल व बंधान्यात समपातळीवरील हालचाल वा स्थानभ्रष्टता निर्माण झाली तर फासळ्यांच्याद्वारा निर्माण झालेल्या ताणाचा दाब काँडचूटच्या पृष्ठभागापर्यंत पोहोचणार नाही. बोगदा तयार करताना दूर ठेवणारे आढे (काँपर्स) बांधणे अत्यंत खर्चचे व कठीण असते व त्याठिकाणी पाझराचे क्षेत्र वाढविण्याच्या दृष्टीने त्यांचे महत्त्व एवढा खर्च करण्याजोगे असते का हाही वादाचा विषय आहे. या परिस्थितीत खडकावर भराव टाकणे व बोगद्याच्या रेषेच्या मागे भराव टाकणे हाच पाझरणे कमी करण्याचा परिणामकारक मार्ग आहे. मग बोगद्या सभोवतालचे साहित्य स्थिर व घट्ट असो वा मृदु व मोकळे असो.

उतारा ५

(फ्रेगर, जस्टीन व हिड्स यांचे इंजिनअरिंग फॉर डॅम्स खंड ३ रा, पाने ७१०-११)

पायामध्ये खणलेल्या खंदकातून जर पाईप्स घातले असतील तर त्याची आढी कोंक्रीटची असावीत. ज्या ठिकाणी कोंक्रीट कॉलर्स बांधावयाच्या असतात तेथे तळाला व बाजूंना आडवा खंदक खणण्यात यावा. हा आडवा खंदक निदान २४ इंचाचा असावा. कॉलरची खुली टोके ही उम्या बॅटरची असावी व ती १० त १ यापेक्षा अधिक उभी नसावीत. म्हणजे ज्यावेळी त्यावर बंधारा उभा राहिल त्यावेळी ते जसजसे बांधले जाईल तसतसे घट्ट नसेल. कॉलर्ससाठी उपयोगात आणावयाचे कोंक्रीट १ : २ : ४ अशा प्रमाणात असावे. झटकन नसेल इतकेच ते आर्द्र असावे कारण अधिक पाण्यामुळे ते अधिक संकोच पावेल.

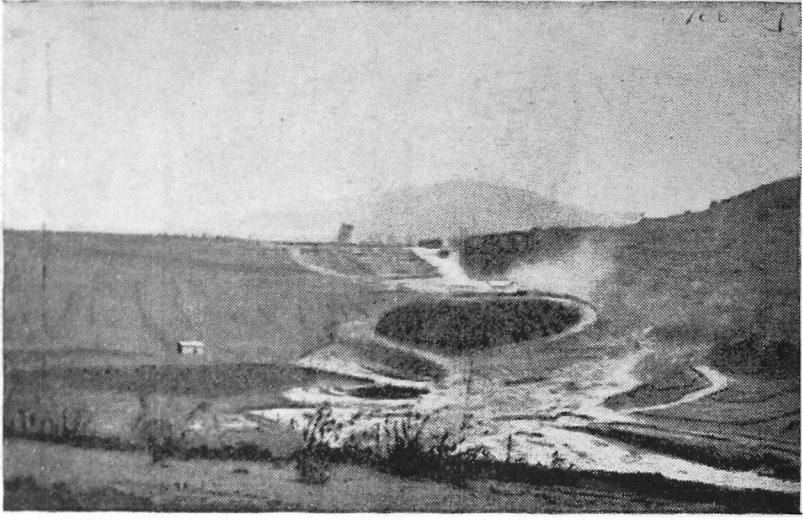
बंधान्याच्या भेद्य अशा रुंद भागात तीनपेक्षा कमी कटऑफ्स नसावेत. एकदा कट-ऑफ फॉर्मस काढून घेतले की त्या ठिकाणी ताबडबोब पाईप खंदक काळजीपूर्वक भरण्यात यावा. माती ३ ते ४ इंचाच्या थरात भरून एअर पॉवर टेपर्सनी चांगली चेपण्यात आल्या-वरच दुसरा थर टाकावा. दुसरा थर टाकण्यापूर्वी थर जर पुरेसा ओला नसेल तर पहिल्या थरावर थोडे पाणी अलगद शिंपले म्हणजे या थरात एकजीवपणा निर्माण होईल. या प्रकारच्या खंदक पडलस करू नयेत कारण पडलीगमुळे भराव खंदकांच्या बाजूवरून संकुचित होऊन दूर सरेल.

उतारा ६

(यू. एस्. बी. आर्. डिझाईन सप्लीमेंट नं. २, प्रकरण ८, पान १७.)

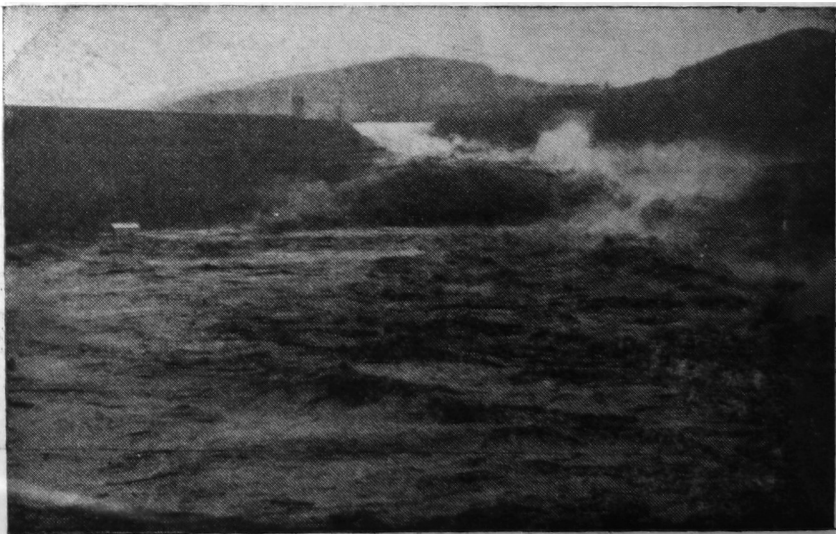
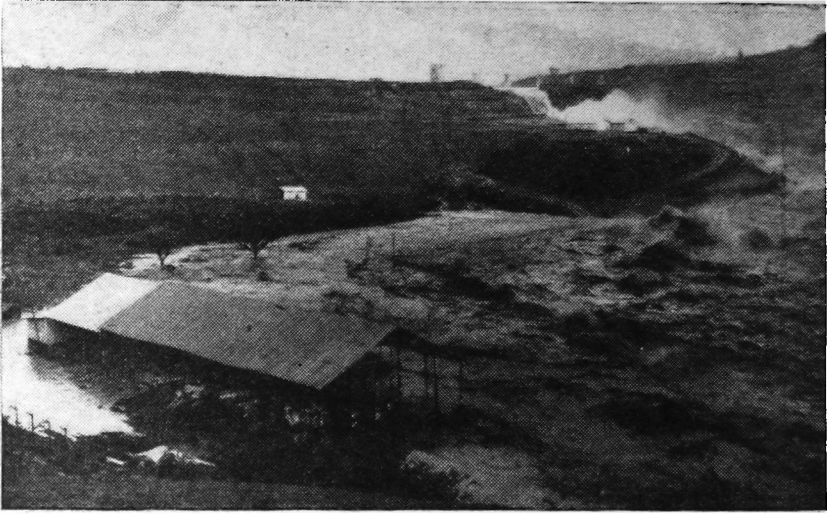
कोणत्याही बंधाऱ्याच्या नमुन्यात अंत्यपादाच्या कॉन्ट्रॅक्टसकडे काळजीपूर्वक लक्ष द्यावे लागते. पाझरीचा प्रवाह अडवला जावा म्हणून जरी सुयोग्य कटऑफ () ठेवलेले असतात तरीही अंत्यपाद व बंधारा यांच्या दरम्यान जर काही मोकळ्या जागा राहिल्या तर धोकादायक प्रमाणात पाणी पाझरू लागते इतकेच नव्हे तर त्यामुळे बंधारा पडतोही. सर्व अनावश्यक व पुढे आलेले खडक काढून टाकावेत आणि उतार असे तयार करावेत की, बंधाऱ्याचे साहित्य घट्ट भरता येईल व ते एकजीव होऊन कोठेही पोकळी राहाणार नाही.

प्लेट क्र. ९ (अ)

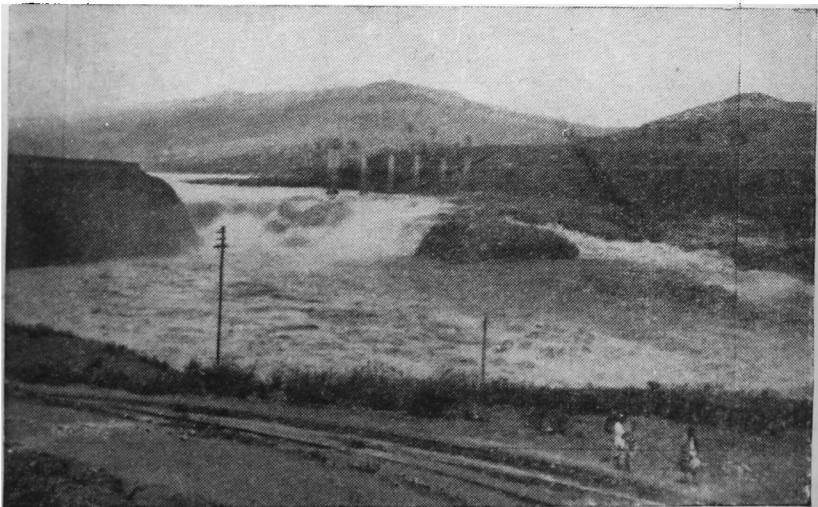


धरण भरून वाहू लागल्यानंतर तातपुरत्या वेस्ट विअरच्या भागात धरणाच्या तलोच्छेदनाचा क्रम दर्शविणारी छायाचित्रे

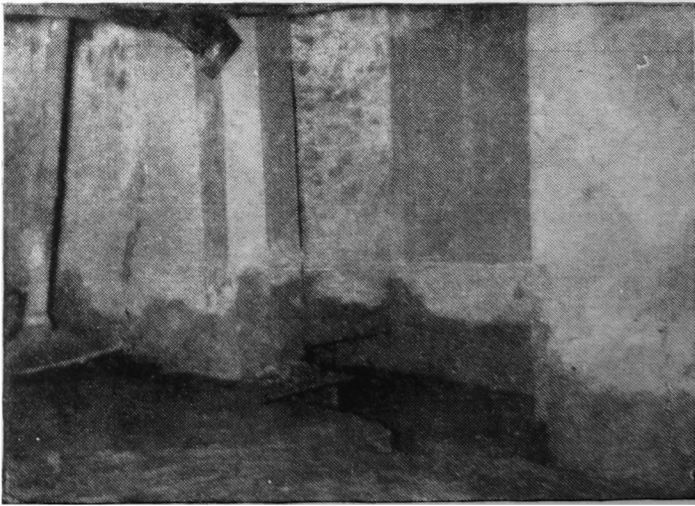
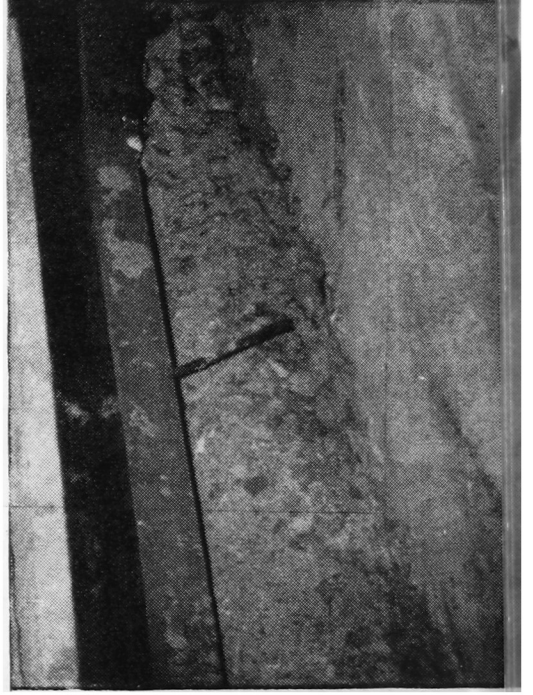
प्लेट क्र. ९ (ब)



प्लेट क्र. २ (क)



प्लेट क्र. ६



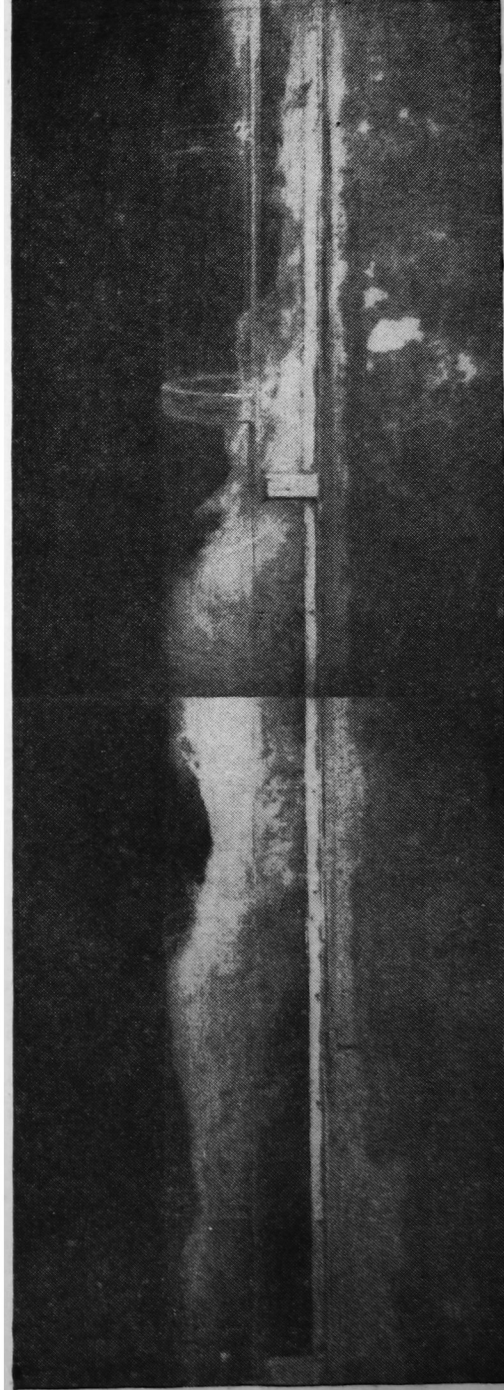
नियंत्रण मनोरा व कॉन्ड्यूट यामधील विवरनिमित्तमुळे झालेली हानी
दर्शविणारी छायाचित्रे

प्लेट क्र. ७

प्लेट क्र. ८ बरील छायाचित्र पाहावे.

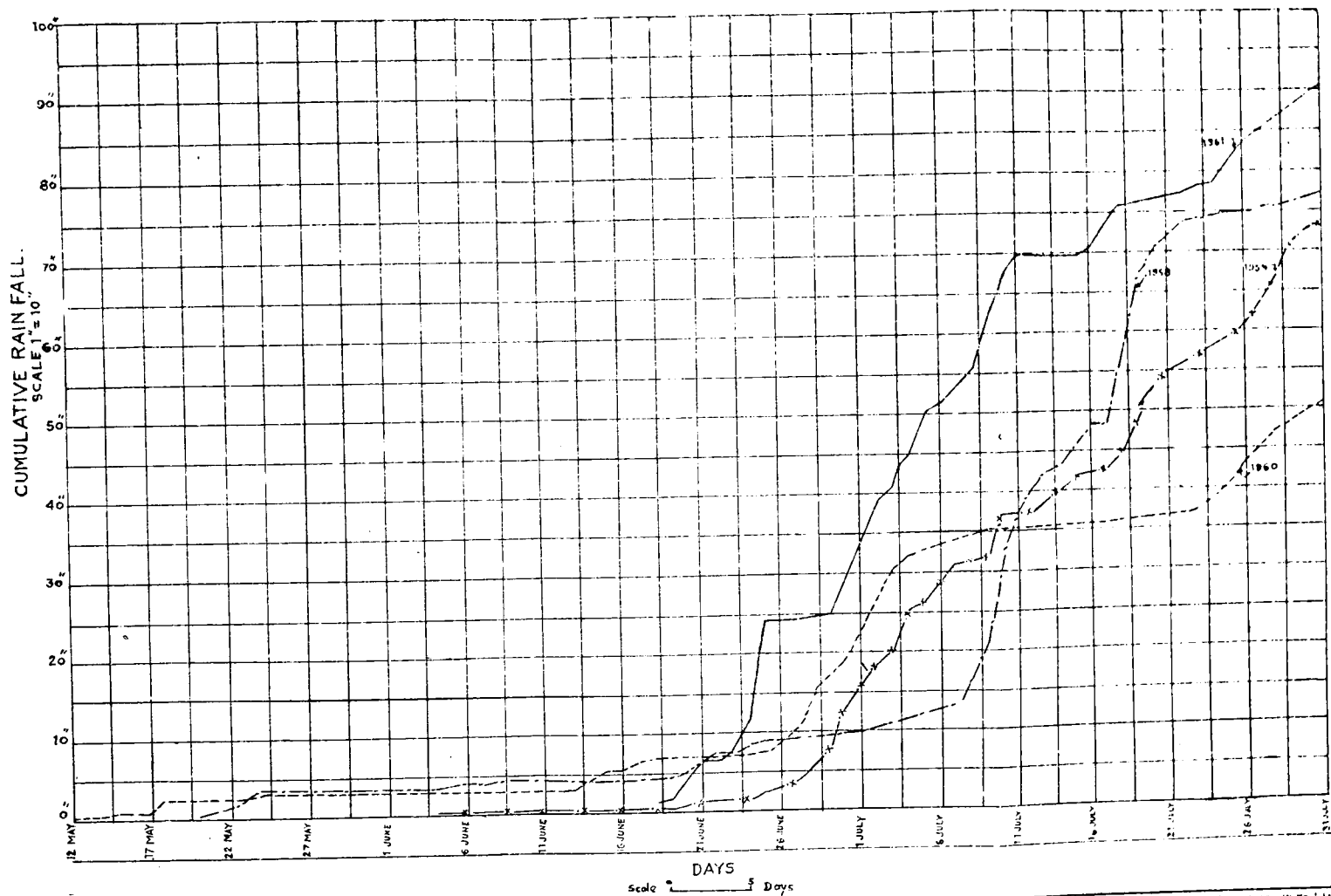
जलशास्त्रीय प्रतिकृतीमधील प्रवाहाच्या स्थिती दर्शविणारे छायाचित्र

प्लेट क्र. ८



जलशास्त्रीय प्रतिकृतीमधील पाण्याच्या उसळीचे नमुनेदार पार्श्वरूप दर्शविणारे छायाचित्र

GRAPH SHOWING CUMULATIVE RAIN FALL
AT PANSET DAM FOR THE YEARS
1958, 1959, 1960, & 1961.



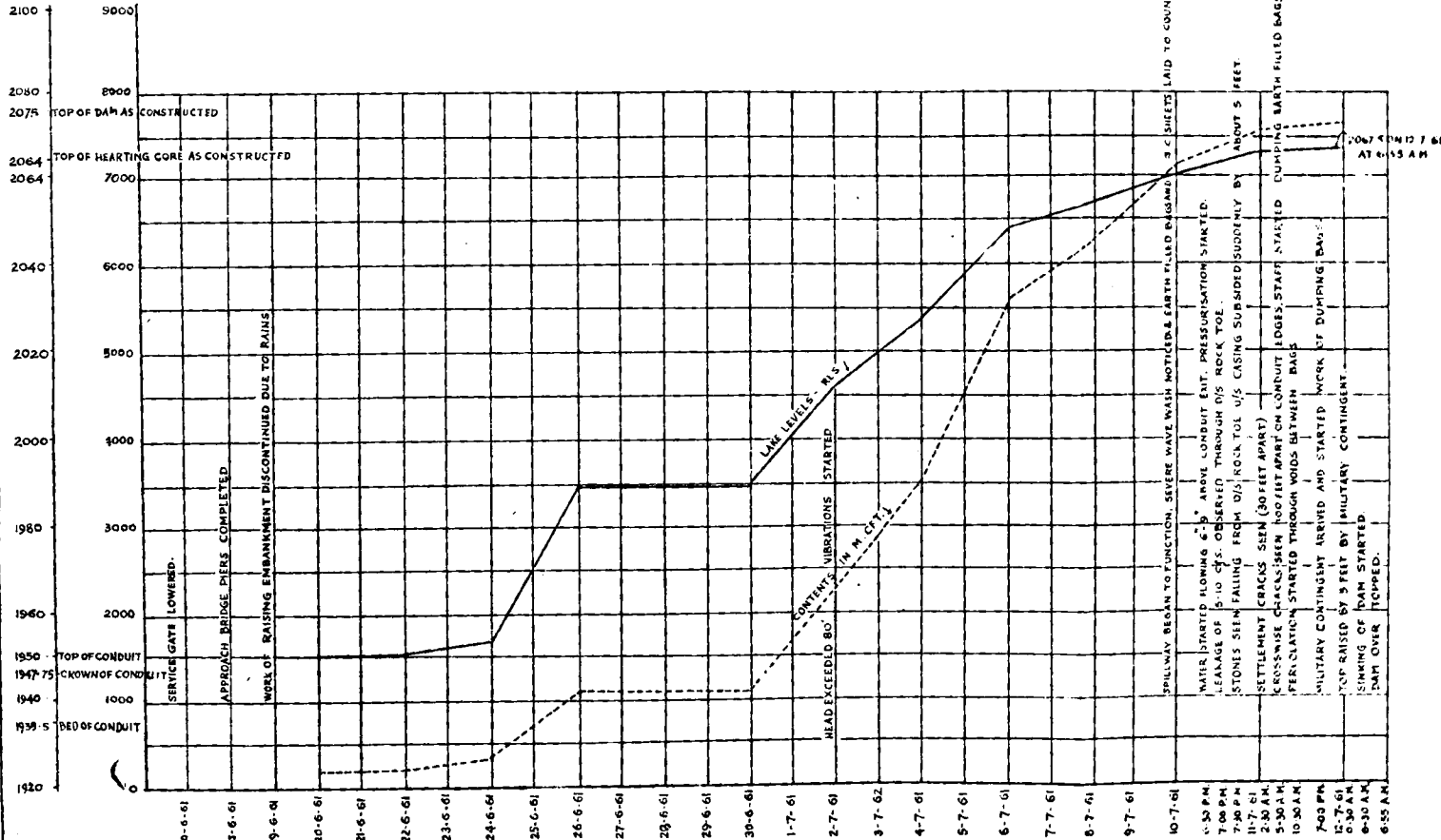
COMMISSION OF INQUIRY PANSHET & KHADAKWASLA DAMS

GRAPH FOR THE PERIOD FROM 10-6-61 TO 12-7-61

SHOWING

- 1 WATER LEVELS IN THE LAKE (RLS) [SCALE: 0 — 20']
- 2 CONTENTS IN THE LAKE IN M.C.F.T. [SCALE: 0 — 1000 M.C.F.T]
- 3 SEQUENCE OF EVENTS FROM 10-6-61 TO 12-7-61

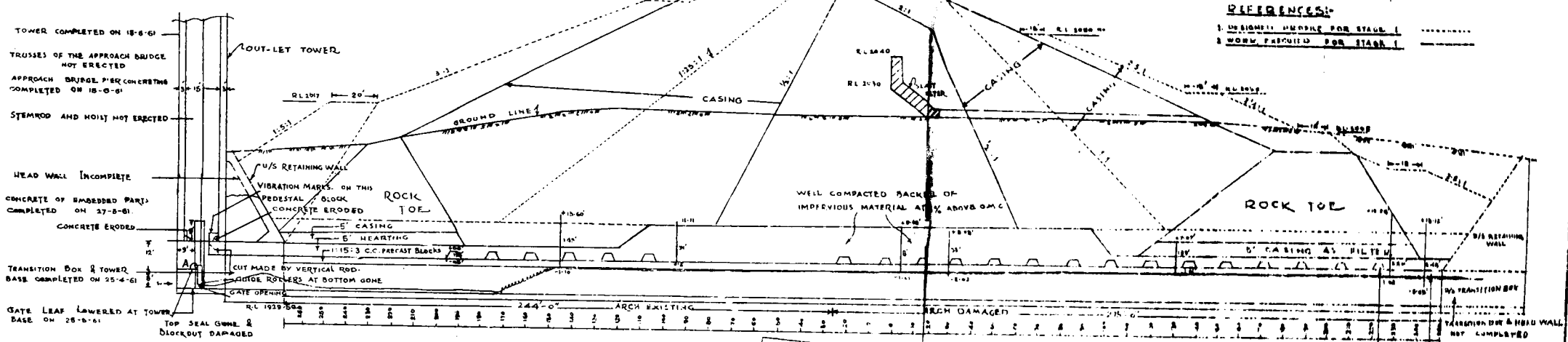
WATER LEVEL IN THE LAKE
CONTENTS IN M.C. FT.



COMMISSION OF INQUIRY
PANSHET AND KHADAKWASLA DAMS

— DRAWING —
SHOWING DETAILS OF INCOMPLETE DAM SECTION & DAMAGE
TO CONTROL TOWER AND CONDUIT AFTER FAILURE.

PLATE NO III



REFERENCES:
1. USE RIGHTLY MENTIONED FOR STAGE I
2. WORK DEFERRED FOR STAGE I

TOWER COMPLETED ON 18-8-61
TRUSSES OF THE APPROACH BRIDGE NOT ERECTED
APPROACH BRIDGE PIERS CONCRETE COMPLETED ON 18-0-61
STEMWOOD AND HOIST NOT ERECTED
HEAD WALL INCOMPLETE
CONCRETE OF EMBEDDED PARTS COMPLETED ON 27-8-61
CONCRETE ERODED
TRANSITION BOX & TOWER BASE COMPLETED ON 25-4-61
GATE LEAF LOWERED AT TOWER BASE ON 28-5-61
TOP SEAL GUNNE & BLOCKOUT DAMAGED

OUT-LET TOWER

U/S RETAINING WALL

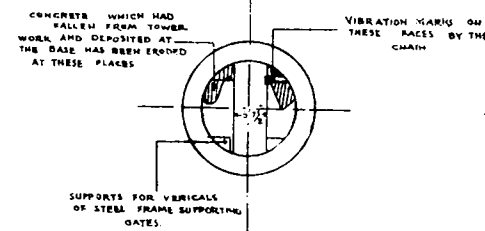
VIBRATION MARKS ON THIS PREDESTAL BLOCK CONCRETE ERODED

ROCK TOE

WELL COMPACTED BACKFILL OF IMPERVIOUS MATERIAL AT 1% ABOVE O.M.C.

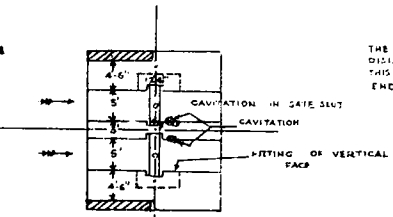
ROCK TOE

ARCH OF THE CONDUIT COMPLETED ON 25-4-61
STRENGTHENING RIBS COMPLETED ON 18-8-61



PLAN SHOWING DAMAGE TO TOWER BASE

Scale 0 10 Ft.

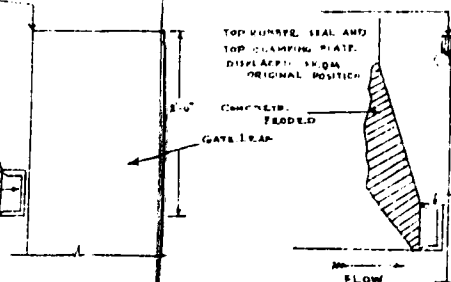


PLAN SHOWING DAMAGES TO TOWER BASE AT SILL LEVEL R.L. 1935-50

Scale 0 15 Feet

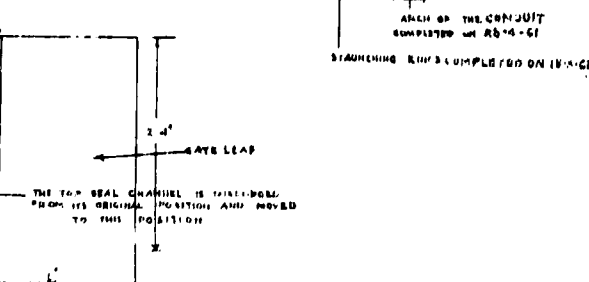
TOP RUBBER SEAL ASSEMBLY IS WASHED AWAY
CONCRETE ERODED
THE TOP SEAL CHANNEL IS DISLODGED AND MOVED TO THIS POSITION, THE RIGHT END BEING 6" HIGHER THAN ORIGINAL ELEVATION

FLOW



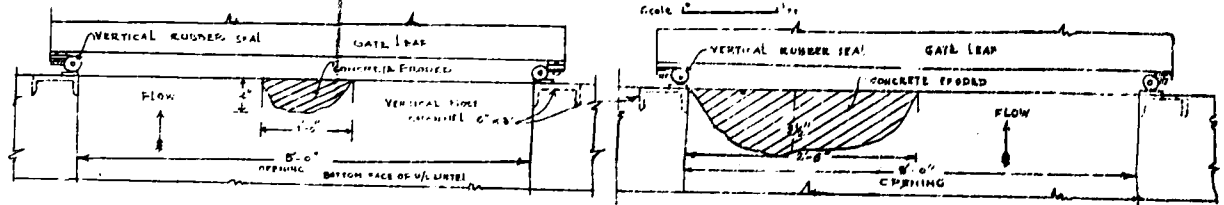
LEFT GATE END VIEW AT (A)

Scale 0 1 Ft.



RIGHT GATE END VIEW AT (A)

Scale 0 1 Ft.



PLAN BOTTOM OF U/S LINTEL OF THE GATE VIEWED FROM BELOW LEFT SIDE OPENING

Scale 0 1 Ft.

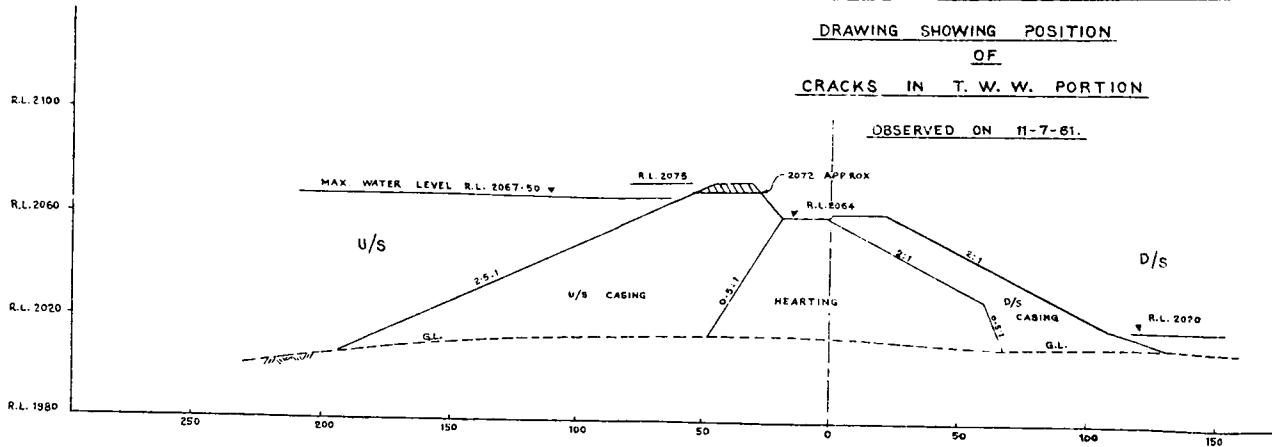
PLAN BOTTOM OF U/S LINTEL OF TOWER BASE VIEWED FROM BELOW RIGHT SIDE OPENING

Scale 0 1 Ft.

COMMISSION OF INQUIRY PANSHET AND KHADAKWASLA DAMS

DRAWING SHOWING POSITION OF CRACKS IN T. W. W. PORTION

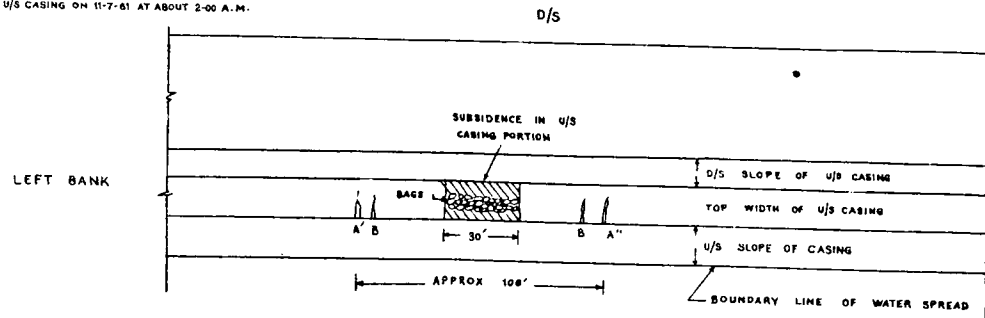
OBSERVED ON 11-7-61.



CROSS SECTION OF PANSHET DAM IN THE T.W.W. PORTION
(PORTION BELOW G.L. NOT SHOWN)

NOTE:-

THE SUBSIDENCE WAS FIRST
OBSERVED IN THE HATCHED PORTION
OF THE U/S CASING ON 11-7-61 AT ABOUT 2-00 A.M.

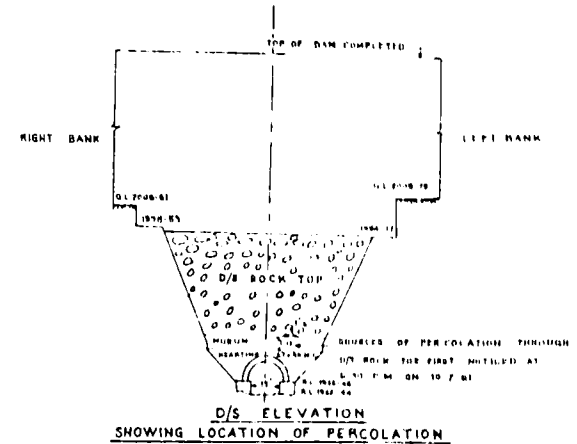


PLAN SHOWING THE EXTENT AND SHAPE OF CRACKS

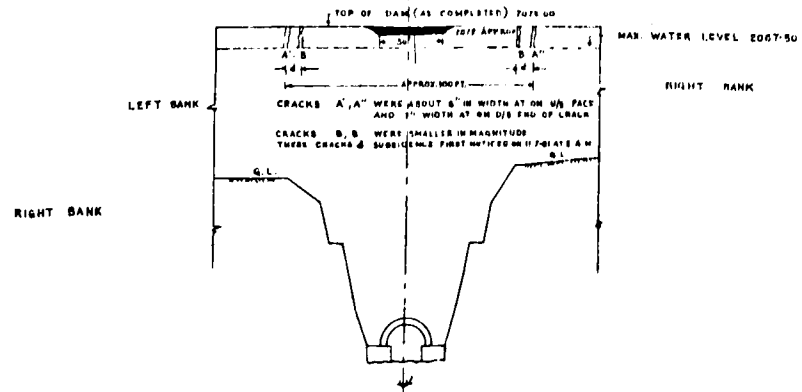
NOTE:-

- (a) THE CRACKS A' A', B B
WERE WEDGE SHAPED BEING
WIDER ON U/S FACE
- (b) A' A' CRACK SLIGHTLY SMALLER THAN A'

Scale 1" = 40 Feet.

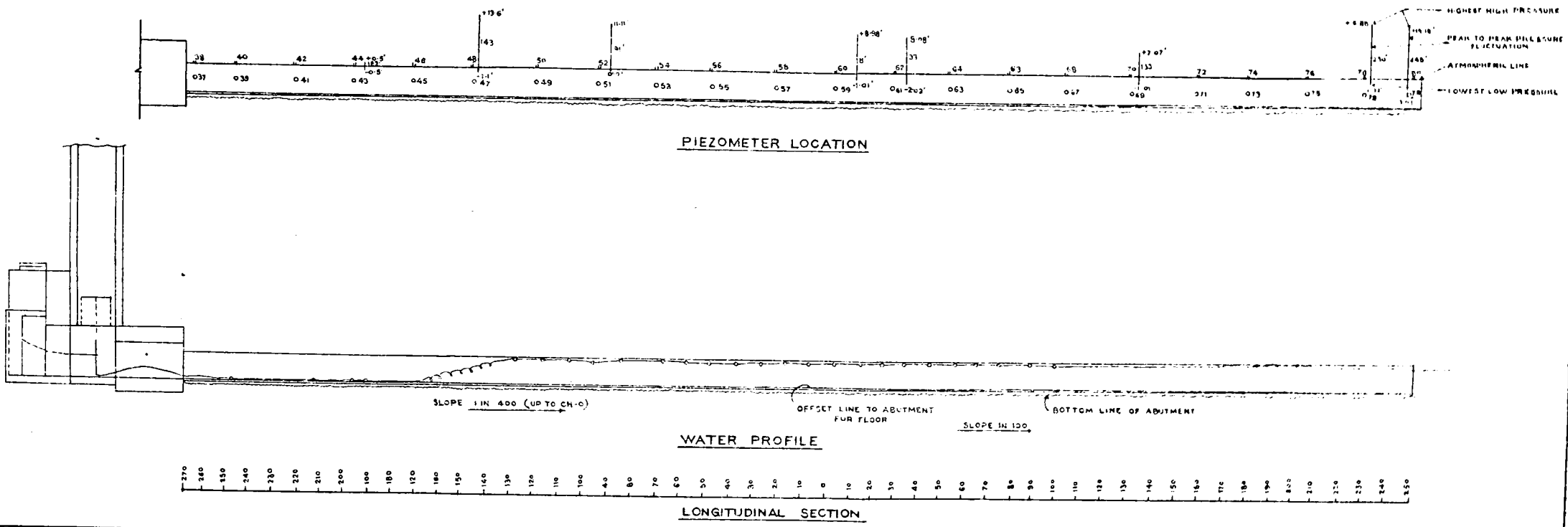


D/S ELEVATION
SHOWING LOCATION OF PERCOLATION



UP STREAM ELEVATION
SHOWING SUBSIDENCE & CRACKS IN U/S CASING.

COMMISSION OF INQUIRY
PANSHET AND KHADAKWASLA DAMS
PANSHET DAM SLUICE OUTLET
 SHOWING
WATER PROFILE FOR RESERVOIR R.L.2067-50
AND PIEZOMETER LOCATION ON THE CONDUIT ARCH



COMMISSION OF ENQUIRY
PANSHET AND KHADAKWASLA DAMS

STABILITY ANALYSIS OF PANSHET DAM BY SWEDISH
SLIP CIRCLE METHOD (ROTATIONAL FAILURE)

SCALE 1"=30'
FEET

U/S SLOPE IN SUBMERGED CONDITION

MATERIAL FORCES	CASING MATERIAL AT			HEARTING MATERIAL AT			CLAYEY MATERIAL +3% OF O.M.C. AT			ROCK TOE MATERIAL DRY	TOTAL KIPS
	SATUR. ATION	SUBMER. SED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	+3% O.M.C.		
SLIDING FORCE T	-	240.8	41.8	-	48.0	29.4	-	0.1	-	-34.8	ET=345.3
RESISTING FORCE N TAN φ	-	342.6	19.00	-	17.3	8.5	-	5.8	-	84.7	ENTAN φ=477.4
RESISTING FORCE Lc	-	-	15.6	-	-	48.3	-	-	26.8	-	ELc = 90.7
RESISTING FORCE Lc WITH REDUCED VALUES OF C	-	-	-	29.0	-	-	26.8	-	-	-	ELc = 55.8

FACTOR OF SAFETY = $\frac{ELc + EN TAN \phi}{ET} = \frac{90.7 + 477.4}{345.3} = \frac{568.1}{345.3} = 1.65$ [C HEARTING = 500 LBS/SFT, C CASING = 150 LBS/SFT]

FACTOR OF SAFETY WITH REDUCED VALUE OF COHESION DUE TO SATURATION = $\frac{55.8 + 477.4}{345.3} = \frac{533.2}{345.3} = 1.55$ [C HEARTING = 300 LBS/SFT, C CASING = 0 LBS/SFT]

U/S SLOPE IN DRAW DOWN CONDITION

MATERIAL FORCES	CASING MATERIAL AT			HEARTING MATERIAL AT			CLAYEY MATERIAL +3% OF O.M.C. AT			ROCK TOE MATERIAL DRY	TOTAL KIPS
	SATUR. ATION	SUBMER. SED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	+3% O.M.C.		
SLIDING FORCE T	447.2	-	41.8	88.5	-	29.4	-	0.2	-	-85.0	ET=602.1
RESISTING FORCE N TAN φ	-	491.1	19.00	-	17.3	8.3	-	5.5	-	133.7	ENTAN φ=674.5
RESISTING FORCE Lc	-	-	15.6	-	-	48.3	-	-	26.8	-	ELc = 90.7
RESISTING FORCE Lc WITH REDUCED VALUES OF C	-	-	-	29.0	-	-	26.8	-	-	-	ELc = 55.8

FACTOR OF SAFETY = $\frac{ELc + EN TAN \phi}{ET} = \frac{90.7 + 674.5}{602.1} = \frac{765.6}{602.1} = 1.27$ [C HEARTING = 500 LBS/SFT, C CASING = 150 LBS/SFT]

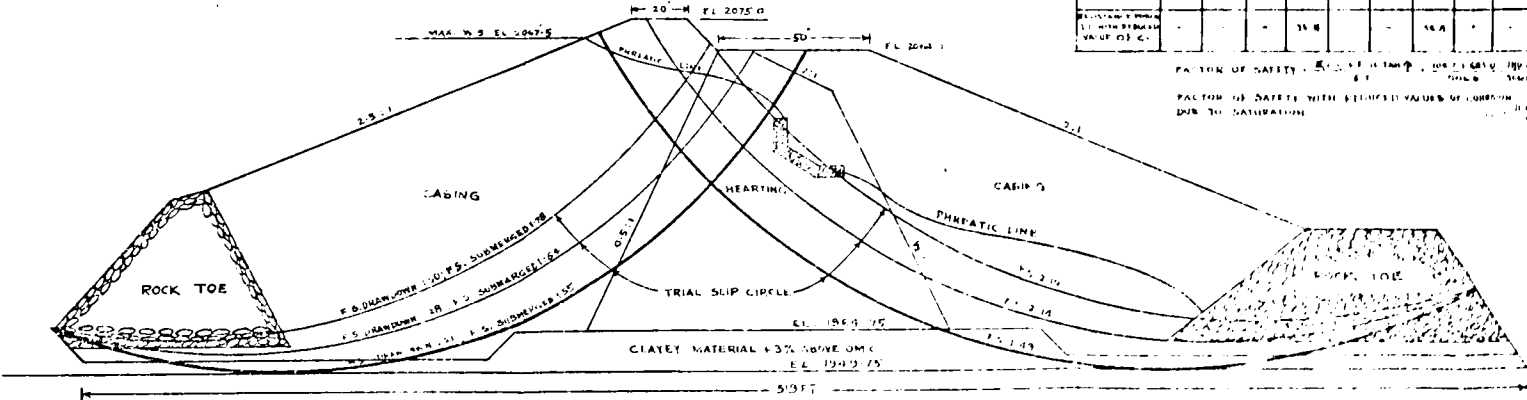
FACTOR OF SAFETY WITH REDUCED VALUE OF COHESION DUE TO SATURATION = $\frac{55.8 + 674.5}{602.1} = \frac{730.7}{602.1} = 1.21$ [C HEARTING = 300 LBS/SFT, C CASING = 0 LBS/SFT]

D/S SLOPE IN STEADY SEEPAGE CONDITION

MATERIAL FORCES	CASING MATERIAL AT			HEARTING MATERIAL AT			CLAYEY MATERIAL +3% OF O.M.C. AT			ROCK TOE MATERIAL DRY	TOTAL KIPS
	SATUR. ATION	SUBMER. SED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	O.M.C.	SATUR. ATION	SUBMER. REED.	+3% O.M.C.		
SLIDING FORCE T	116.0	-	300.0	219.1	-	57.1	11.3	-	-	81.1	506.6
RESISTING FORCE N TAN φ	-	117.1	72.0	-	51.1	28.8	-	8.1	-	244.0	613.1
RESISTING FORCE Lc	-	-	11.7	-	-	50.7	-	-	57.8	-	106.2
RESISTING FORCE Lc WITH REDUCED VALUES OF C	-	-	-	35.8	-	-	55.8	-	-	-	71.8

FACTOR OF SAFETY = $\frac{ELc + EN TAN \phi}{ET} = \frac{106.2 + 613.1}{506.6} = \frac{719.3}{506.6} = 1.42$ [C HEARTING = 500 LBS/SFT, C CASING = 150 LBS/SFT]

FACTOR OF SAFETY WITH REDUCED VALUES OF COHESION DUE TO SATURATION = $\frac{71.8 + 613.1}{506.6} = \frac{684.9}{506.6} = 1.35$ [C HEARTING = 300 LBS/SFT, C CASING = 0 LBS/SFT]



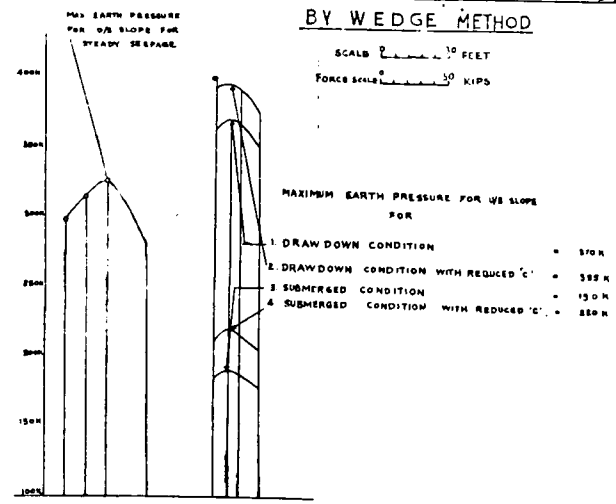
SOIL CHARACTERISTICS

MATERIAL	DENSITY LL/SPT		COHESION LL/SPT		ANGLE OF INTERNAL FRICTION		
	AT O.M.C.	AT SUBMER.	AT O.M.C.	AT SATURATED	AT O.M.C.	AT SATURATED	
HEARTING	98.0	123.5	6.0	500	300	19.5	19.5
CASING	114.0	134.5	72.0	150	0	24.5	24.5
CLAYEY MATERIAL +3% O.M.C.	94.0	119.5	37.0	300	300	16.5	16.5
FILTER ROCK	120	138.5	76.0	0	0	45.0	45.0

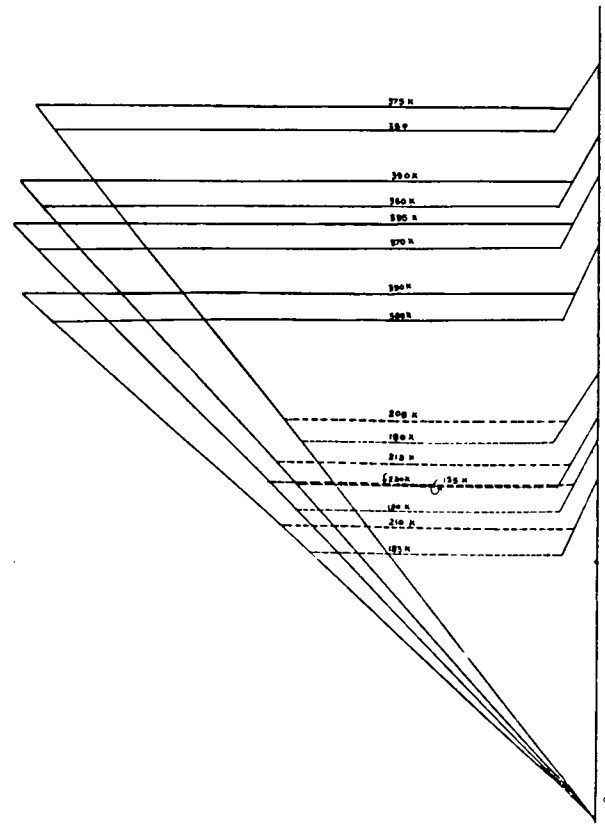
COMMISSION OF ENQUIRY
PANSHET AND KHADAKWASLA DAMS
— SHOWING —

STABILITY ANALYSIS OF PANSHET DAM
BY WEDGE METHOD

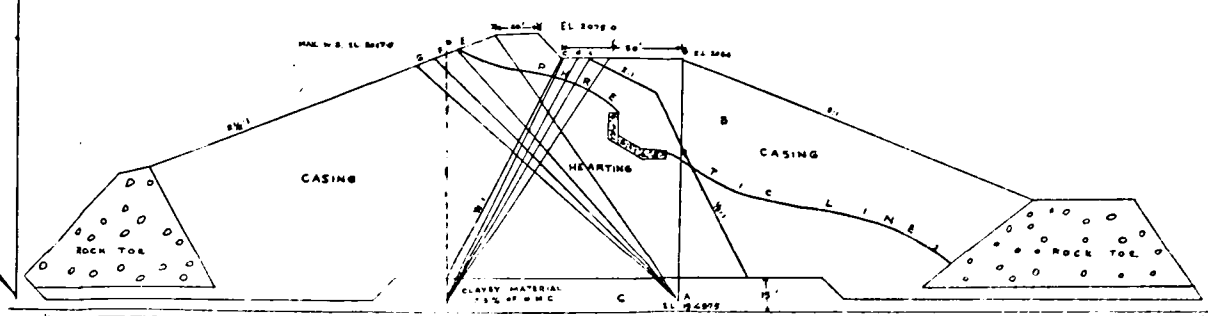
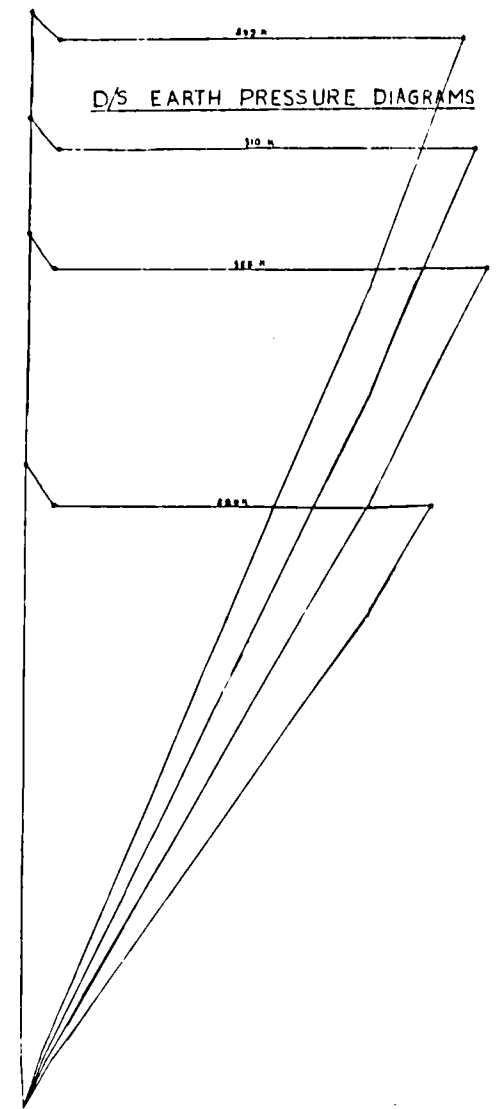
SCALE 1" = 10 FEET
FORCE SCALE 1" = 30 KIIPS



U/S EARTH PRESSURE DIAGRAM



D/S EARTH PRESSURE DIAGRAMS



DRAWDOWN CASE (FOR U/S SLOPE)

WEDGE	EARTH PRESSURES				STABILITY CALCULATIONS			
	W (L.F.)	C (H.P.) AT SAT	C (H.P.) AT O.M.C	C (H.P.) AT SAT	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C
W/S 370	432	37	57	350.0	360			
W/S 360	471	19	55	355.0	360	35	0.3	418
W/S 350	490	40	55	350.0	360.0			
W/S 340	534	40	54	370.0	360.0			

SUBMERGED CASE (FOR U/S SLOPE)

WEDGE	EARTH PRESSURES				STABILITY ANALYSIS			
	W (L.F.)	C (H.P.) AT SAT	C (H.P.) AT O.M.C	C (H.P.) AT SAT	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C
W/S 370	255	37	57	210	185			
W/S 360	280	35	55	210	180	157	52	1.5
W/S 350	297	40	55	210	185			
W/S 340	328	40	58	248	180			

SOIL CHARACTERISTICS

MATERIAL	DENSITY (lb/ft ³)			COMPRESSION RATIO			ANGLE OF INTERNAL FRICTION
	W	D	S	W	D	S	
HEARTING	120	130	140	1.5	1.0	0.8	15
CASING	116	140	140	1.5	1.0	0.8	28
CLAYEY MATERIAL (15% W O.M.C)	96	135	130	1.0	1.0	1.0	18
ROCK TOE	120	130	130	0	0	0	45

STEADY SEEPAGE (FOR U/S SLOPE)

WEDGE	EARTH PRESSURES				STABILITY CALCULATIONS			
	W (L.F.)	C (H.P.) AT SAT	C (H.P.) AT O.M.C	C (H.P.) AT SAT	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C	W (L.F.) AT SAT	W (L.F.) AT O.M.C
W/S 370	418	35	54	350				
W/S 360	458	31	52	350	350	21	1.3	377
W/S 350	473	31	51	350	360			
W/S 340	516	30	50	350	360			

LEGEND -

- 1 DRAW DOWN
- 2 DRAW DOWN WITH REDUCED C
- 3 SUBMERGED
- 4 SUBMERGED WITH REDUCED C
- 5 STEADY SEEPAGE