

Работы по укреплению грунта в рамках
прокладки берегового водоотвода на Саяно-
Шушенской ГЭС на р. Енисей

Отчет о имеющихся методах
укрепления грунта

ООО «Анкерные технологии» г.Москва

март 2008г.

◇ Содержание ◇

Глава 1. Выбор метода укрепления грунта

1. Содержание метода
2. Методы укрепления грунта и выбор соответствующего метода
3. Расчет скорости инъецирования

Глава 2. Метод заливки цементным раствором

1. Содержание метода
2. Проектирование метода

Глава 3. Количественные расчеты

1. Первый способ: параллельное осуществление работ по инъецированию при помощи AW Rod и стабилизация грунта.

Глава 4. Чертежи

1. План сечения
2. Поперечное сечение

Наименование строительных работ:

Работы по укреплению грунта в рамках прокладки берегового водоотвода на Саяно-Шушенской ГЭС на р.Енисей

Глава 1. Выбор метода укрепления грунта

1. Содержание метода

При выборе метода укрепления грунта следует исходить из его технологичности и цели применения. Цементация грунта представляет собой проникновение и заполнение пустот в грунтах при помощи нагнетания состава для инъектирования под определенным давлением. В связи с этим следует предварительно, детальным образом, учитывать следующие факторы: отсутствие вреда, наносимого высоким давлением подземным сооружениям, расположенным вблизи зоны цементации; возможность выдавливания цементного раствора при значительных скоростях движения грунтовых вод или наличия каверн в грунте, а также степень прочности составов для инъектирования. Поскольку методы цементации различаются использованием различных способов инъектирования, оборудованием и используемым материалам, здесь необходим системный анализ специалистов.

Для применения методов цементации с целью усиления несущей способности грунта основания следует в полной мере учитывать следующие условия:

- 1) Принимая во внимание необходимость длительной надежной эксплуатации, метод должен гарантировать долгосрочный эффект от закрепления грунта(прочность).
- 2) Метод должен обеспечивать возможность строительных работ в стесненных условиях и на откосах(технологичность).
- 3) Метод должен обеспечивать явное улучшение свойств грунта после окончания работ (надежность).
- 4) Метод должен быть экономичным.

Существуют различные способы цементации грунта, отличающиеся по способу заливки, оборудованию и используемым материалам. В Республике Корея в основном применяются следующие, различные по своим принципам методы, особенности которых будут рассмотрены ниже.

2. Методы укрепления грунта и выбор соответствующего метода

1) Метод струйной цементации под высоким давлением

Метод струйной цементации представляет собой работы по улучшению качества грунта путем использования энергии струи жидкости для разрушения, перемешивания и замещения исходного природного грунта цементной суспензией с последующим образованием прочного грунтобетона. Он заключается в формировании цилиндрических свай при помощи разрушения грунта струями цементного раствора давлением 200~400кг/см², выходящими из сопел монитора диаметром Ø2мм~Ø3мм, прикрепленного к буровому оборудованию, и последующего перемешивания/заполнения грунта цементным раствором.

Данный метод удобен в применении на песчаных грунтах со значением $N < 30$. Однако, если на сравнительно слабых грунтах ($N < 30$) можно ожидать формирование высококачественных свай, то в предлагаемом районе, из-за твердости грунта основания, данный метод по улучшению качества грунта мало подходит. При расчете метода с учетом формирования свай несущая способность грунта будет недостаточной, а при расчетах для смешанных грунтов будет значительно повышена себестоимость строительных работ, что сделает данный метод экономически невыгодным.

2) Метод пропитки стабилизирующими растворами

Метод пропитки представляет собой разновидность укрепления грунта при помощи медленного заполнения пространств между частицами исходного грунта и скальных трещин стабилизирующими растворами при низком давлении, в результате чего уплотняется исходный грунт, улучшается сила сцепления и несущая способность грунта. Основными способами, применяемыми в данном методе, являются инъецирование растворами и инъецирование суспензией.

о инъециция раствором : силикатизация, технология S.G.R(Space Grouting Rocket System), технология SIS

о инъециция суспензией : инъециция цементным молоком(Cement Milk), инъециция микроцементом

Поскольку инъецирование раствором имеет в качестве недостатка малую прочность, то с учетом того, что целью ставится не гидроизоляция, а укрепление грунта, на предлагаемом участке целесообразно использовать цементные суспензии. В особенности, для данного вида грунта, твердого в основании, или с трещинами, переходящими в зоны изломов, представляется подходящим инъецирование цементным молоком, как разновидность метода пропитки, поскольку данный способ легко сочетает в себе хорошую проникающую способность и обеспечивает длительную прочность получаемого грунта.

Инъецирование цементным молоком обеспечивает усиление сопротивления сдвигу и сопротивление разрыву за счет увеличения прочности и относительной плотности грунта на протяжении длительного времени, препятствуя тем самым его оседанию.

<Таблица 1> Сравнительный анализ методов цементации грунта по их основным принципам

Методы	Пропиточное инъецирование	Струйное инъецирование под высоким давлением
Описание	После бурения грунта в него устанавливают инъектор, с помощью которого в грунт медленно подается раствор, проникающий в щели между частицами грунта или в скальные трещины, связывая их, что способствует увеличению силы сцепления грунта.	После разрушения и перемешивания грунта струей раствора под высоким давлением, производят дальнейшее инъецирование цементным раствором, после застывания которого образуется прочная свая цилиндрической формы.
Применяемые способы инъецирования	Инъецирование цементным молоком, технология S.G.R(Space Grouting Rocket System), силикатизация(L.W), технология SIS	Технология струйного инъецирования J.S.P(Jumbo Special Pile Pattern), технология S.I.G(Super Injection Grout), технология R.J.Prodin Jet Pile), струйное инъецирование(JET), технология M.J.G
Схематический рисунок		
Грунты, пригодные к использованию	Супесь и скальные породы	Глинистые и песчаные почвы
Давление при инъецировании	Менее 20кг/см ²	200~400 кг/см ²
Цель использования	Подземная гидроизоляция, укрепление грунта основания	Укрепление грунта (заменяет фундаментные сваи сооружений)
Материал для инъецирования	Раствор или суспензия(цемент)	Суспензия(цемент)
Характерные особенности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заполнение раствором щелей между частицами грунта или скальных трещин позволяет повысить плотность и прочность грунта. 2. Применение метода возможно в стесненных условиях. 3. Эффект усиления грунта можно достичь даже при показателе N>50 (твердые слои грунта) 4. Получение гомогенного грунта с улучшенными свойствами. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. В результате удается добиться хорошего уплотнения грунта с образованием прочного грунтобетона с отличными гидроизоляционными свойствами. Для метода характерны малый шум и низкая вибрация. 2. Применение метода возможно на глинистых и песчаных почвах и даже гравелитах, но не подходит для выветривающихся скальных пород. 3. Поскольку работы проходят под высоким давлением требуется повышенный контроль за соблюдением техники безопасности, запрещающий рабочему персоналу находиться в зоне проведения работ. Также требуется контроль за осуществлением работ для предотвращения повреждения близлежащих строений и подземных сооружений и вспучивания грунта. 4. Большое образование буровой грязи и вероятность повреждения инъекторов.
Надежность, технологичность	хорошие	нормальные
Рекомендуемый метод	◎	

3. Расчет скорости инъецирования

1) Расчет скорости инъецирования(для цементных растворов)

При расчете объема инъецирования следует учитывать такие факторы, как условия уплотняемого грунта, качество цементного раствора, цель инъецирования, а также надежность употнения грунта. Поскольку затвердевший грунтобетон оказывает на грунт стабилизирующее действие, объем инъецирования всего лишь отражает соотношение компонентов инъекционного раствора по отношению ко всему грунту в рамках расчетного инъецирования и не означает объема затвердевшего цементного раствора. Следовательно, общая формула расчета объема инъецирования посредством умножения скорости инъецирования(λ) на объем уплотняемого исходного грунта(V), выглядит следующим образом.

$$Q = V \cdot \lambda$$
$$= V \cdot n \cdot \alpha(1 + \beta) \dots\dots\dots(1)$$

где Q : кол-во инъецируемого раствора в укрепляемый грунт($m^3=1000л$)

V : объем уплотняемого грунта λ : скорость инъецирования n : пористость

α : коэффициент уплотнения грунта β : коэффициент потерь (для растворов 5 %, для суспензий 10%)

Согласно <Рис. 1> расчет объема инъецирования производится относительно общего проникновения раствора в пространство между зернами грунта и данный показатель не подходит для заполнения скальных трещин. Однако поскольку до настоящего времени не существует формулы расчета объема инъецирования для заполнения трещин, то на опыте приходится применять вышеуказанную формулу. Значения скорости инъецирования, приведенные в <Таблице 2>, следует использовать в качестве примера для больших объемов инъецирования. Поскольку укрепление грунта происходит за счет заполнения пустот и трещин, величину которых невозможно проверить на исходном грунте, скорость инъецирования рассчитывают лишь предположительно, а действительные значения определяют непосредственно на рабочем участке.

2) Диффузия в цементном растворе и глубина проникновения в грунт

Поскольку в формулу для расчета глубины проникновения уплотняющего раствора входит еще большее количество элементов, не существует способа ее точного определения. Поэтому наилучшим решением видится совокупная оценка параметров на основе предыдущего опыта строительства и, по возможности, установка границ проникновения раствора после проведения пробного инъецирования на участке.

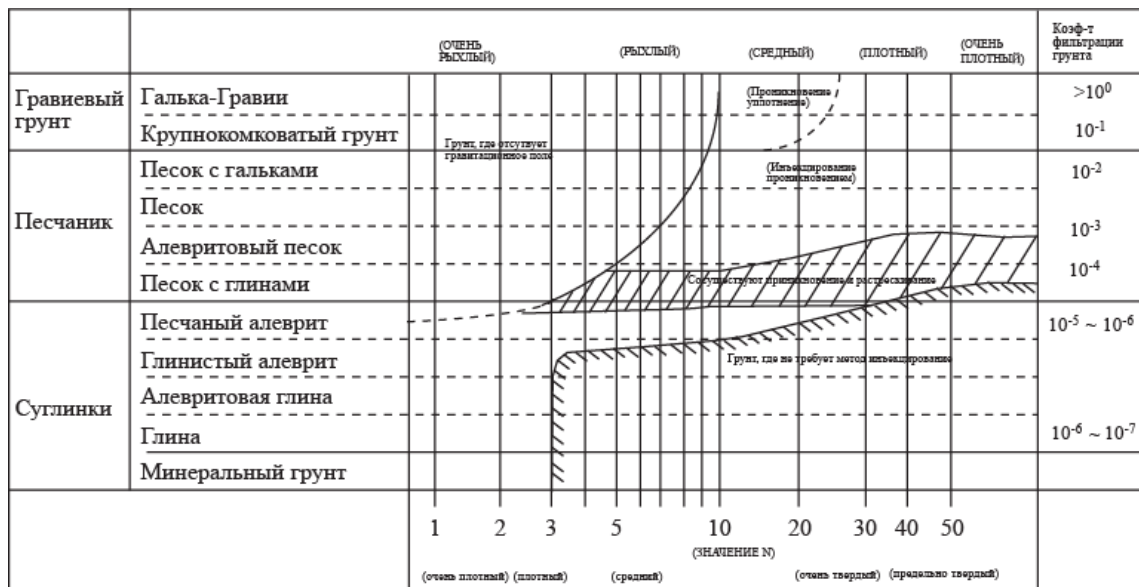
<Таблица 2> Скорость инъецирования в зависимости от вида грунта

Виды грунта		Коэф-т N	Коэф-т фильтрации грунта (см/сек.)	Пористость (%)	Коэффициент уплотнения грунта(%)		Скорость инъецирования(%)		
					Виды инъекционных материалов	По цели инъецирования		По цели инъецирования	
						Укреплени е	Гидро изоляция	Укреплени е	Гидро изоляция
Гравий/Песок	Рыхлый	4~10	10 ¹	45~50	суспензии	95	100	43~48	45~50
					растворы	-	100	-	45~50
	Средний	10~30	10 ⁰	35~40	суспензии	95	-	33.8~30.8	-
					растворы	90	100	31.5~36	35~40
	Плотный	30~50	10 ⁻¹	30~35	суспензии	90	-	27~31.5	-
					растворы	90	95	27~31.5	28.5~33.3
Песчан ик	Рыхлый	4~10	10 ⁻²	45~50	суспензии □ растворы	90~95		40.5~47.5	
	Средний	10~30	10 ⁻² ~ 10 ⁻³	40~45		90~95		36.0~41.4	
	Плотный	30~50	10 ⁻³ ~ 10 ⁻⁴	35~40		80~85		28.0~34.0	
Суглинк и	Рыхлый	0~4	10 ⁻ ~ 10 ⁻⁵	60~75	суспензии	40	-	24~30	-
					растворы	45	-	27~34	-
	Средний	4~8	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁵	50~60	суспензии	30	-	15~18	-
					растворы	30	-	15~18	-
Жирная глина	0~5	10 ⁻² ~ 10 ⁻³	70~90	суспензии	60		42~54		
				растворы	-	100	-	70~90	
Скальный грунт				20~35	суспензии	30~50		10~20	

<Примечание >

1. Если по результатам проведенных испытаний коэффициент N, коэффициент фильтрации грунта и пористость будут отличаться от данных таблицы, за главный показатель берется пористость грунта.
2. В случае, если не определена пористость грунта, за показатель берется коэффициент N.
3. Коэффициент потерь (β) равен 10% (данное значение лучше рассчитать по результатам испытаний, проводимых на участке).
4. Коэффициент уплотнения грунта является приоритетным в зависимости от цели инъецирования <Стандарты для расчетов фундаментов строительных сооружений(1986г.)>, Министерство строительства Республики Корея.

<Рис. 1> Схема зависимости формы инъецирования от плотности грунта



Глава 2. Метод заливки цементным раствором

1. Содержание метода

1) Цели

Для заполнения пустот грунта инъекционным раствором применяют параллельное использование AW-инъектора и Air пакера, пробуравив скважину на расчетную глубину и заливая цементное молоко при помощи растворонасоса. Поскольку конечной целью уплотнения грунта является повышение его плотности и прочности, при помощи цементных растворов добиваются максимального эффекта проникновения и увеличения прочности грунта.

2) Принцип уплотнения грунта

Улучшение качества смешанного грунта происходит за счет заполнения цементным раствором пустот между зернами исходного грунта, после затвердевания которого увеличиваются его относительная плотность и сила сцепления, позволяя повысить значение допустимой нагрузки на основание фундамента.

Благодаря использованию AW-инъектора и Air пакера удастся добиться однородного инъецирования, работая в стесненных условиях, а также вечного эффекта укрепления грунта.

2. Проектирование метода

1) Границы проникновения раствора

«Стандартами для расчетов фундаментов строительных сооружений», принятыми Министерством строительства и транспорта Республики Корея, границы проникновения растворов, установленные для участков с нарушенной силой сцепления грунта, составляют 0,8~2,0м. Поскольку грунт предлагаемого участка содержит большое количество осколков и трещин, то границы возможного проникновения раствора составляют 1,5м.

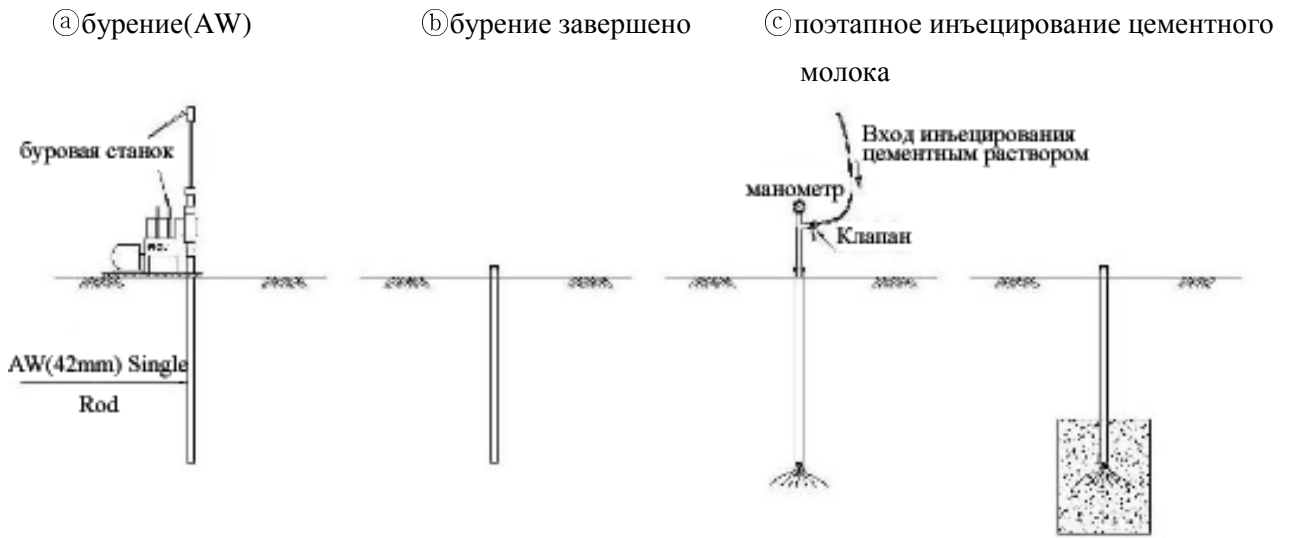
2) Способ проведения работ

- Первый способ : параллельное осуществление работ по инъецированию при помощи AW Rod и стабилизация грунта

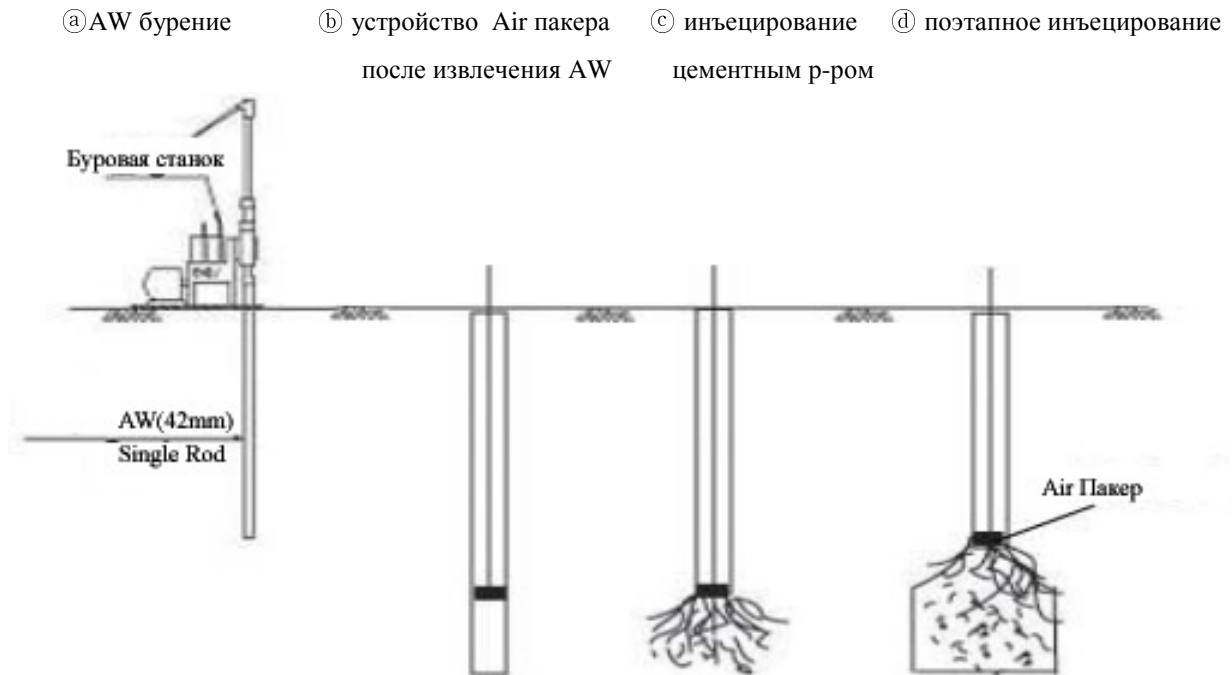
При помощи AW Rod диаметром Ø42мм в укрепляемом грунте основания бурят скважину на расчетную глубину, после чего, извлекая инъектор снизу вверх, заполняют пустоты грунта основания цементным раствором. Использование для инъецирования AW Rod позволяет уменьшить отверстие буровой скважины, максимально устраняет выход цементного раствора на поверхность скважины и способствует направленному проникновению раствора в ее стенки. Поскольку после бурения скважины при помощи AW Rod грунт плотный, если есть возможность непосредственно установить пакер в скальном слое, из скважины полностью извлекают AW Rod, а на его место внизу скважины устанавливают AIR пакер диаметром 38мм и производят поэтапное инъецирование цементным раствором.

3) Ход работ

<Рис. 1> Параллельное осуществление работ по инъецированию при помощи AW single Rod и стабилизация грунта



* Во время стабилизации грунта AW Rod заменяют AIR пакером.



- Второй способ : Инъекцирование нисходящими зонами(Top-Down Grouting)

После предварительного бурения скважины при помощи обсадной трубы В(Ø76мм) при помощи стальной трубы(внутр.диам Ø 40мм, внеш.диам. Ø 42.9мм, толщина 2.9мм) изготавливают иньектор и вставляют в обсадную трубу В, которую затем извлекают. В золотниковый пневмораспределитель, расположенный в верхней части стальной трубы, устанавливают двойной пакер и производят инъекцирование цементным молоком с учетом времени гелеобразования, чтобы раствор не поднимался на поверхность земли. Затем, двойной пакер устанавливают в уплотненный раствором нижний золотниковый клапан и производят заливку цементным молоком согласно расчетному объему инъекцирования. После окончания инъекцирования верхней части переходят к средней и нижней части, постепенно перемещая двойной пакер и повторяя действия, описанные выше для верхней части, до достижения расчетной глубины скважины. Для повышения несущей способности грунта в нем замуровывают стальную трубу. Способ инъекцирования нисходящими зонами используется на рыхлых грунтах или там, где необходимо усилить несущую способность грунта, и не подходит для предлагаемого участка.

4) Дозировка

Дозировка цементного инъекционного раствора во время выполнения работ изменяется в порядке от более жидкого раствора к более густому. По мере того, как достигается требуемое давление инъекцирования, соотношение вода:цемент в растворе изменяют в обратном порядке(значения приведены ниже в таблицах). Инъекцирование производят с применением каждого вида дозировок, изменяя соотношение вода:цемент в пределах от 1:6 до 1:1.

<Таблица 3> Применяемые дозировки

Соотношение	Цемент	Вода	Кол-во
1 : 6	20 кг	120 л	126.35 л
1 : 4	40 кг	160 л	172.70 л
1 : 2	60 кг	120 л	139.05 л
1 : 1	100 кг	100 л	131.75 л

В случае, если несмотря на инъекцирование большого количества цементного раствора не удастся достичь необходимого сцепления, следует изменить дозировку компонентов раствора.

<Таблица 4> Измененные дозировки

Соотношение	Раствор / Время инъекцирования	Измененное соотношение
1 : 6	Более 400л /5мин.	1 : 4
1 : 4	Более 200л /5 мин.	1 : 2
1 : 2	Более 200л /5 мин.	1 : 1.5
1 : 1	Прекратить инъекцирование в случае невозможности дальнейшего проникновения	

Глава 3. Количественные расчеты

1. Первый способ: параллельное осуществление работ по инъецированию при помощи AW single Rod и стабилизация грунта.

А. Вертикальный участок

① Кол-во свай : (на участке 100м длиной 1.5м) x (на участке 680м длиной 1.5м) = 30,220 свай

② Общая длина бурильных скважин : 30,220 x 5.0м=151,100м

③ Объем инъецирования : 340.000м³ x 0.11 = 37,400м³

$$\theta = V \cdot \lambda \quad \lambda = n \times \alpha(1+\beta)$$

$$\text{Объем исходного грунта (V)} = 100 \times 680 \times 5.0\text{м} = 340.000\text{м}^3$$

$$\text{Скорость инъецирования (\lambda)} = 0.148$$

$$\text{Пористость (\alpha)} = 0.334$$

$$\text{Коэффициент уплотнения грунта (n)} = 0.30$$

$$\text{Коэффициент потерь (\beta)} = 0.1$$

④ Кол-во стройматериалов

- Цемент : 37,400м³ x 760кг = 28,424,000 кг

Б. Участок откоса

① Кол-во свай : (на участке 680м² длиной 1.5м=454 шт.) x 2 ряда x 3 шт. x 2 участка = 5,448 шт.

② Общая длина бурильных скважин : 5,448 свай x 5.0м=27,240м

③ Объем инъецирования: 2,992м³

$$680\text{м} \times 4\text{м} \times 5.0\text{м} \times 2\text{участка} = 27,200\text{м}^3$$

$$27,200\text{м}^3 \times 0.11 = 2,992\text{м}^3$$

④ Количество стройматериалов

- Цемент : 2,992м³ x 760кг = 2,273,920кг

Параметры	Вертикальный участок	Участок откоса	Всего
Кол-во свай	30,220шт.	5,448 шт.	35,668шт.
Длина бурильных скважин	151,100м	27,240м	278,340м
Объем инъецирования	37,400м ³	2,992м ³	40,392м ³

⑤ расходомер

⑥ измеритель расхода цемента

Наименование	Вертикальный участок	Участок откоса	Всего
Цемент	28,424,000кг	2,273,920кг	30,697,920кг

⑦ Установка оборудования и приборов : (100+680) + (680 x 4 x 2)=73.440 м²

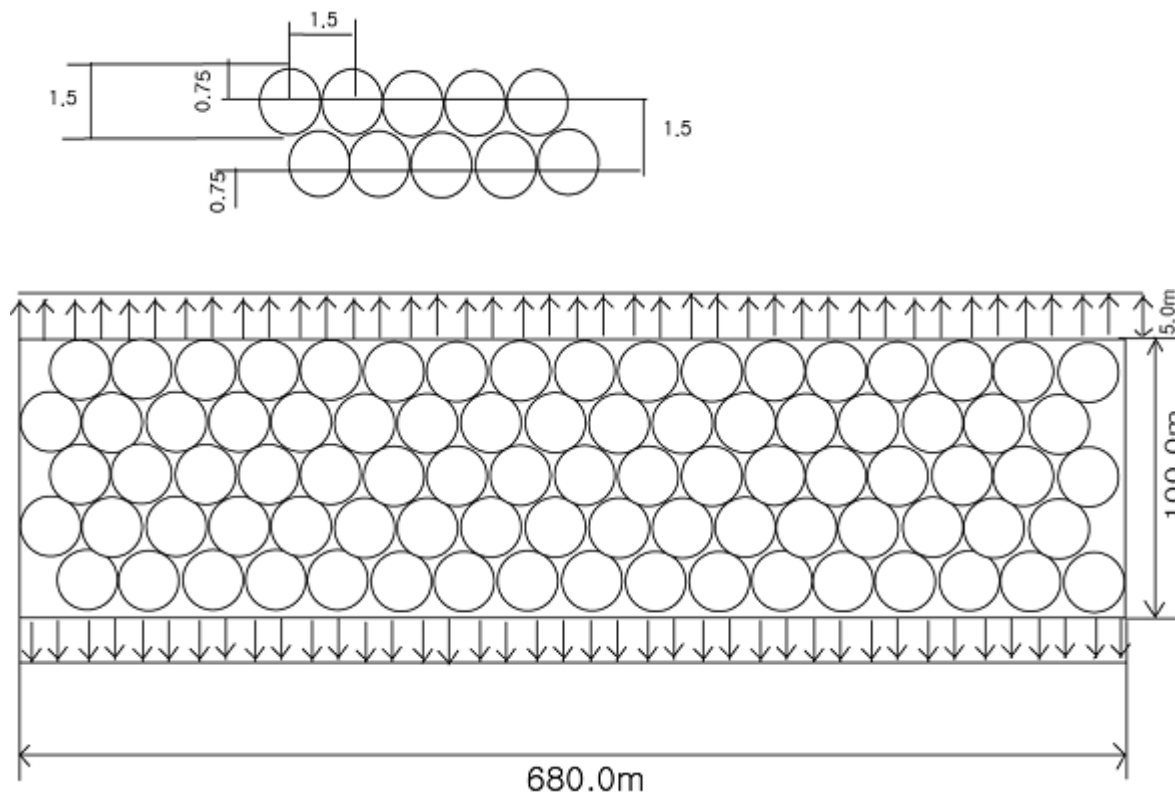
На участке 73.440м² 20м² = 3.672 раз

⑧ Установка мини-завода : на участке 734.440м² 100м² = 734 раз

Глава 4. Чертежи применения метода иньектирования цементным раствором

1. План сечения

Детальный чертеж



2. Поперечное сечение

